

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

Uređaj za mjerenje usporenja vozila

Mentor:
Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Student:
Dominik Radelić
0035191647

U Zagrebu, veljača 2017.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dominik Radelić**

Mat. br.: 0035191647

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Uređaj za mjerenje usporenja vozila**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Device for Measurement Motor Vehicle Deceleration**

Opis zadatka:

U okviru svojih razvojnih aktivnosti odnosno poslova, djelatnici tvrtke Centar za vozila Hrvatske d.d. razvili su i izradili uređaj za mjerenje usporenja vozila koji se zasniva na elektroničkom akcelerometru.

U okviru rada treba:

- Opisati postupak provjere kočnica vozila i potrebu za određivanjem usporenja vozila.
- Napraviti pregled tržišta sličnih uređaja.
- Opisati način rada uređaja.
- Detaljno ispitati funkcionalnost uređaja.
- Napraviti seriju ispitivanja uređaja na probnoj stazi te dokumentirati utvrđene rezultate.
- Usporedbom rezultata s uređaja i podataka utvrđenih na neki drugi način provjeriti (validirati) rad uređaja.

Sve radnje tijekom izrade rada treba opisati i popratiti skicama, crtežima odnosno fotografijama na način da se po završetku rad može koristiti kao uputa za uporabu uređaja.

Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

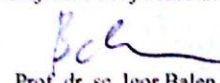
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:



Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Predsjednik Povjerenstva:



Prof. dr. sc. Igor Balen

Sadržaj

Sažetak.....	5
1. Uvod.....	6
1.1 Uloge kočnog sustava vozila	6
1.2 Vrste i podjela kočnica	6
1.3 Metode ispitivanja kočnica vozila	7
2. Pregled tržišta sličnih uređaja	11
2.1 MAHA VZM 100.....	11
2.2 MAHA VZM 300.....	13
2.3 Bowmonk BrakeCheck.....	14
2.4 Bowmonk AFM2.....	15
2.5 BrakeSafe	16
3. Uređaj za mjerenje usporenja vozila DM01	18
3.1 Opis uređaja.....	18
3.2 Funkcije uređaja	19
3.3 Način rada uređaja.....	31
3.4 Postupak mjerenja usporenja uređajem	32
4. Validiranje uređaja za mjerenje usporenja vozila.....	34
4.1 Predviđeni postupak mjerenja	34
4.2 Odabrani postupak mjerenja.....	35
4.3 Uređaj za usporedbu	35
4.4 Analiza rezultata.....	40
5. Zaključak	55
Literatura	56

Popis slika

Slika 1. Dijagram podjele kočnica.....	7
Slika 2. Shema valjaka za ispitivanje kočnica, [5]	8
Slika 3. Uređaj za ispitivanje kočnica s valjcima MAHA MBT 2100, [8]	9
Slika 4. Izgled uređaja MAHA VZM 100, [6]	12
Slika 5. Izgled uređaja MAHA VZM 300, [8]	13
Slika 6. Izgled uređaja Bowmonk BrakeCheck, [9]	14
Slika 7. Izgled uređaja Bowmonk AFM2, [9]	15
Slika 8. Izgled uređaja BrakeSafe, [10]	16
Slika 9. Uređaj za mjerenje usporenja vozila DM01 sa standardnim priborom.....	18
Slika 10. Izgled uređaja DM01	19
Slika 11. Glavni izbornik.....	19
Slika 12. Shema kretanja kroz izbornike uređaja DM01	20
Slika 13. Priprema uređaja za mjerenje	21
Slika 14. Tipkovnica za unos podataka u uređaj	21
Slika 15. Izgled izbornika po završetku pojedinog mjerenja	22
Slika 16. Izgled izbornika izračunavanja rezultata	22
Slika 17. Izračun srednjeg aritmetičkog usporenja.....	23
Slika 18. Izračun usporenja prikolice kočene naletnom kočnicom	23
Slika 19. Izračun usporenja prikolice	24
Slika 20. Izgled izbornika dostupne memorije	24
Slika 21. Dijagram mjerenja s prikazanom krivuljom usporenja vozila	25
Slika 22. Izgled servisnog izbornika	26
Slika 23. Postavke vremena.....	27
Slika 24. Autokalibracija uređaja DM01	28
Slika 25. Umjeravanje dinamometra	28
Slika 26. Adresa u zaglavlju ispisa.....	29
Slika 27. Standardne varijable uređaja	29
Slika 28. Zaslone kontrole uređaja	30
Slika 29. Model pretvornika, [11]	31
Slika 30. Vakuumski držač uređaja DM01	32
Slika 31. Spoj vakuumskog držača i uređaja	32
Slika 32. Uređaj DM01 s priključenim dinamometrom	33
Slika 33. Shematski prikaz postupka mjerenja usporenja vozila pomoću optičkih vrata.....	34
Slika 34. Izgled uređaja Driftbox, [14].....	36
Slika 35. Uređaj Driftbox s opremom, [14].....	37
Slika 36. Baterija s adapterom uređaja Driftbox, [14].....	38
Slika 37. Postavljanje uređaja unutar ispitnog vozila.....	38
Slika 38. Grafički rezultati mjerenja.....	39
Slika 39. Aritmetička srednja vrijednost mjerenja	39
Slika 40. Dijagram mjerenja 1 – DM01	41
Slika 41. Dijagram mjerenja 1 – Driftbox	41
Slika 42. Dijagram mjerenja 2 - DM01	42
Slika 43. Dijagram mjerenja 2 – Driftbox	42
Slika 44. Dijagram mjerenja 3 - DM01	43
Slika 45. Dijagram mjerenja 3 – Driftbox	43

Slika 46. Dijagram mjerenja 4 - DM01	44
Slika 47. Dijagram mjerenja 4 – Driftbox	44
Slika 48. Dijagram mjerenja 5 - DM01	45
Slika 49. Dijagram mjerenja 5 - Driftbox	45
Slika 50. Dijagram mjerenja 6 - DM01	46
Slika 51. Dijagram mjerenja 6 – Driftbox	46
Slika 52. Dijagram mjerenja 7 - DM01	47
Slika 53. Dijagram mjerenja 7 – Driftbox	47
Slika 54. Dijagram mjerenja 8 - DM01	48
Slika 55. Dijagram mjerenja 8 - Driftbox	48
Slika 56. Dijagram mjerenja 9 - DM01	49
Slika 57. Dijagram mjerenja 9 – Driftbox	49
Slika 58. Dijagram mjerenja 10 - DM01	50
Slika 59. Dijagram mjerenja 10 – Driftbox	50
Slika 60. Dijagram mjerenja 11 - DM01	51
Slika 61. Dijagram mjerenja 11 – Driftbox	51
Slika 62. Dijagram mjerenja 12 - DM01	52
Slika 63. Dijagram mjerenja 12 – Driftbox	52
Slika 64. Dijagram odstupanja rezultata pojedinih mjerenja	54

Popis tablica

Tablica 1. Karakteristike MAHA VZM 100	12
Tablica 2. Karakteristike MAHA VZM 300	13
Tablica 3. Karakteristike Bowmonk BrakeCheck	14
Tablica 4. Karakteristike Bowmonk AFM2	15
Tablica 5. Karakteristike BrakeSafe	16
Tablica 6. Objašnjenje varijabli uređaja DM01	30
Tablica 7. Postavke rada uređaja Driftbox	36
Tablica 8. Karakteristike uređaja Driftbox	37
Tablica 9. Rezultati mjerenja	53
Tablica 10. Odstupanje mjerenja	53

Sažetak

Kako bi se osiguralo sigurno zaustavljanje vozila, potreban je ispravan rad kočnog sustava. Ispravnost kočnog sustava utvrđuje se ispitivanjem. Ispitivanje je moguće vršiti na uređaju s valjcima gdje se provjerava kočna sila ili uređajem za mjerenje usporenja vozila.

Na tržištu postoji niz uređaja koji se koriste za mjerenje usporenja. Radi se o elektroničkim decelerometrima. Preciznost mjerenja takvim uređajima varira između 1 i 2 %.

Kao alternativa već postojećim uređajima razvijen je decelerometar DM01. Rad uređaja zasnovan je na principu rada troosnog kapacitivnog akcelerometra.

Tijekom mjerenja uređaj bilježi profil usporenja vozila te silu pritiska na pedalu kočnice. Po završetku mjerenja rezultati se ispisuju na zaslonu i pisaču uređaja te spremaju u memoriju. Na uređaju je moguće podesiti niz postavki kako bi se osiguralo kvalitetno mjerenje. Neke od postavki zaključane su lozinkom kako bi se spriječila zlouporaba.

Validiranje uređaja izvršeno je analizom i usporedbom niza mjerenja s referentnim uređajem Driftbox. Mjerenja su izvršena na ispitnoj pisti simultano na oba uređaja u istom ispitnom vozilu.

Na temelju 12 mjerenja utvrđeno je prosječno odstupanje mjerenja uređaja DM01 u odnosu na referentni uređaj Driftbox u iznosu 1,8 % uz mjernu nesigurnost metode koja iznosi 0,52 %.

1. Uvod

Cilj ovog rada je provjera točnosti rada uređaja za mjerenje usporenja vozila DM01. Uređaj je osmislio i izradio djelatnik Centra za vozila Hrvatske, mr. sc. Kruno Poljančić dipl. ing. u sklopu razvojnih aktivnosti CVH.

Usporenje i zaustavljanje vozila obavlja se kočnicama. Obzirom na prirodu svojih zadataka, kočni sustav ubraja se u aktivne sigurnosne sustave vozila. Ispravnost i učinkovitost kočnica ključni su za funkcioniranje vozila, stoga je vozila potrebno ispitati i utvrditi njihovu funkcionalnost.

Prema Pravilniku o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama [1], vozila koja se ne mogu ispitati na uređaju za statičko ispitivanje kočnica, ispituju se kočenjem u vožnji, mjereći pomoću decelerometra usporenje vozila. Vrijednost decelerometrom izmjerenog usporenja vozila za vozila kategorija M (osobni automobili i autobusi) mora biti jednaka ili veća od 5 m/s^2 .

1.1 Uloge kočnog sustava vozila

Tri su glavne uloge kočnog sustava vozila. Prva je omogućiti vozaču sigurno i djelotvorno usporenje i zaustavljanje vozila. Druga je održavanje konstantne brzine u nekom dužem vremenskom periodu. Na poslijetku, kočni sustav mora osigurati i zadržavanje vozila u mirujućem položaju na nizbrdici.

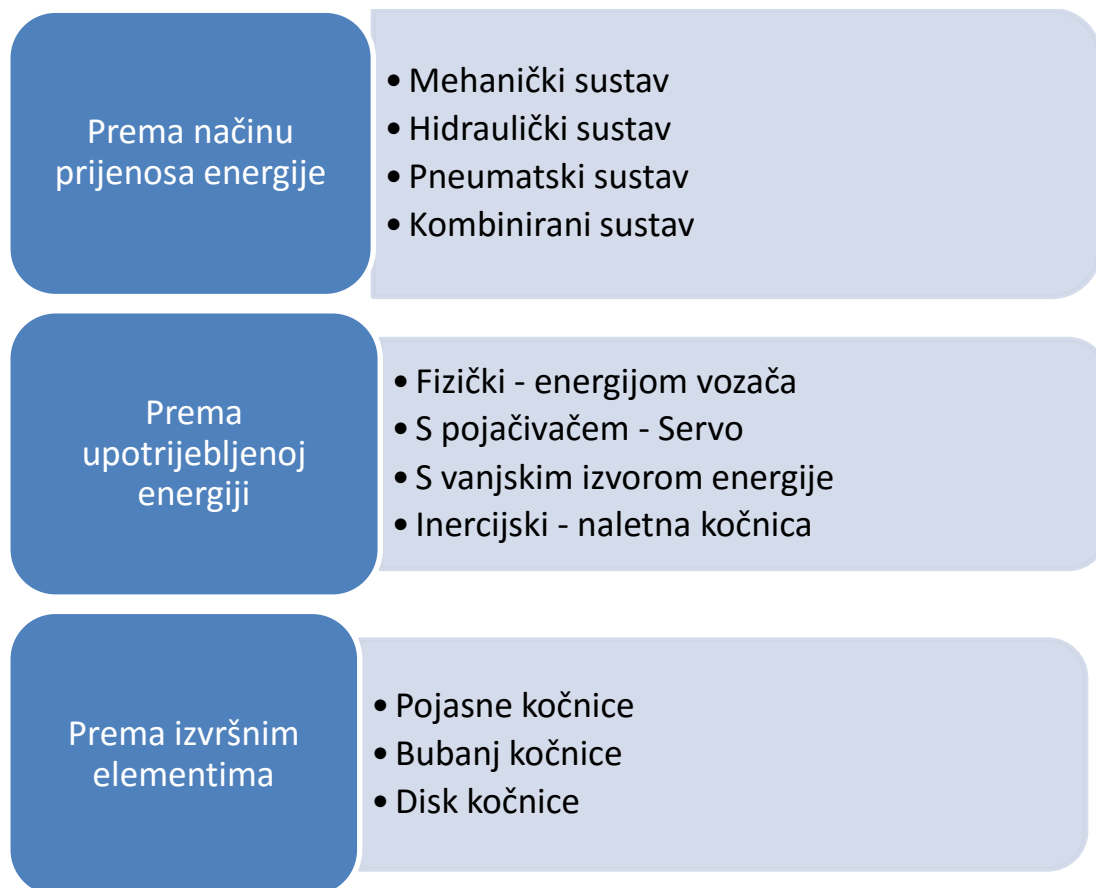
1.2 Vrste i podjela kočnica

Kako bi se uspješno ispunile sve zadaće, kočni sustav motornih vozila sastoji se od tri osnovne komponente:

1. Radna kočnica – aktivira se nožnom pedalom i koristi za usporavanje i zaustavljanje vozila.
2. Pomoćna kočnica – aktivira se u slučaju otkazivanja radne kočnice.
3. Parkirna kočnica – koristi se za sprječavanje pomicanja mirujućeg vozila. Uobičajeno djeluje na kotače samo jedne osovine.

Također, kod težih teretnih vozila pojavljuju se i motorne kočnice ili usporivači koji služe za smanjivanje opterećenja radne kočnice pri dugotrajnoj vožnji nizbrdicom.

Kočnice se općenito mogu podijeliti prema nekoliko različitih načela, kao što su: prema namjeni, prema načinu prijenosa energije, prema upotrijebljenoj energiji, te prema izvršnim elementima. Neke od podjela prikazane su u dijagramu na slici 1.



Slika 1. Dijagram podjele kočnica

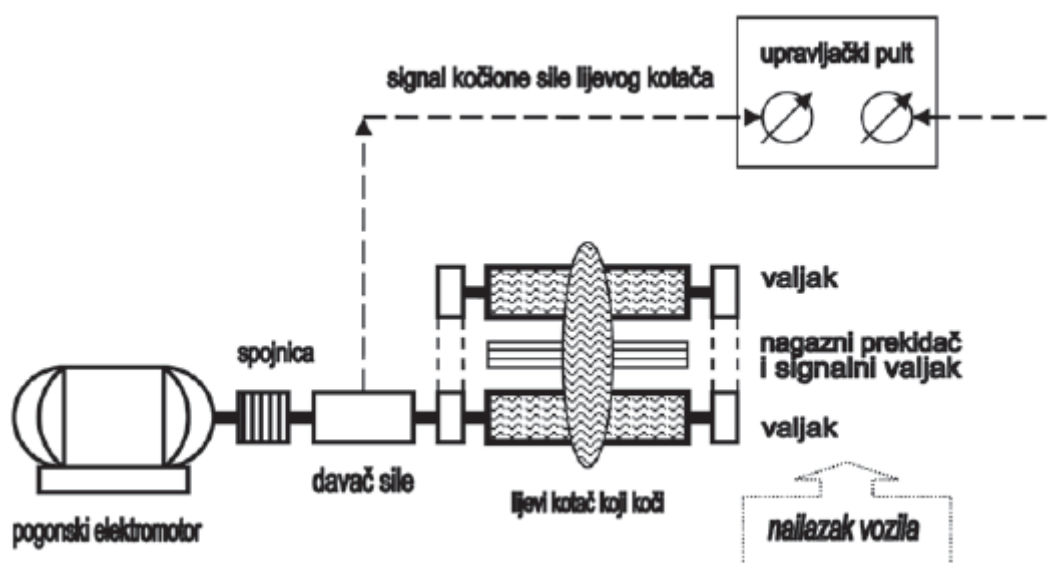
1.3 Metode ispitivanja kočnica vozila

Prema Pravilniku o tehničkim pregledima vozila [4], ispituje se djelovanje i efikasnost kočenja radne i parkirne kočnice te pomoćne kočnice, ukoliko je posebno izvedena. Efikasnost kočenja određuje se mjerenjem kočne sile na uređaju, valjcima ili na ispitnoj stazi uređajem za mjerenje usporenja vozila.

1.3.1 Valjci za ispitivanje kočnica

Uređaji s valjcima najčešći su uređaji za ispitivanje i utvrđivanje efikasnosti kočnica vozila. Valjcima je moguće ispitivati kočne sile na svakom kotaču kao i otpore kotrljanja kotača. Ispitivanjem se mjeri kočna sila svakog kotača. Sumom sila na svim kotačima vozila dobiva se ukupna kočna sila vozila. Ukoliko je poznata ukupna kočna sila moguće je odrediti usporenje vozila.

Uređaj za ispitivanje kočnica s valjcima se sastoji od dva para valjaka od kojih je svaki posebno pogonjen, omogućujući pritom mjerenje sile kočenja oba kotača na pojedinoj osovini vozila. Valjci se proizvode za mjerenje sile kočenja jedne ili više kategorija vozila ovisno o potrebama. Shematski prikaz ispitivanja vozila na valjcima prikazan je na slici 2.



Slika 2. Shema valjaka za ispitivanje kočnica, [5]

Prije početka ispitivanja, vozilo se pozicionira na uređaj tako da kotači leže na valjcima. Tada se pritiskom kotača na nagazni prekidač aktivira signalni valjak koji uključuje uređaj. Elektromotor pogoni valjke okrećući pritom i kotače vozila, prednje ili stražnje osovine, konstantnom obodnom brzinom od približno 2,5 km/h. Sve dok se ne pritisne pedala kočnice, očitavaju se samo otpori kotrljanja kotača. Kada ispitivač pritisne pedalu kočnice počinje mjerenje sile kočenja na valjcima. Kočenje traje do granice klizanja, kada nastupa parcijalno proklizavanje kotača sve do blokiranja. Za vrijeme kočenja uspoređuju se brzina vrtnje pogonskih valjaka i brzina vrtnje signalnog valjka koja je jednaka brzini vrtnje kotača. Valjci se automatski zaustavljaju kada se postigne unaprijed definirana razlika u brzinama. U tom trenutku postiže se maksimalna kočna sila. Kočna sila ovisna je o faktoru trenja između pneumatika i obloge valjaka, odnosno direktno ovisi o materijalu obloge valjaka. Nakon ispitivanja jedne osovine postupak se ponavlja i za drugu te se ispituje i parkirna kočnica.

Po završetku ispitivanja iz dobivenih rezultata moguće je odrediti koeficijent kočenja, očekivano usporenje vozila te razlika u silama kočenja kotača svake pojedine osovine. Izgled uređaja za ispitivanje kočnica s valjcima prikazan je na slici 3.



Slika 3. Uređaj za ispitivanje kočnica s valjcima MAHA MBT 2100, [8]

1.3.2 Uređaj za mjerenje usporenja

Uređaj za mjerenje usporenja, odnosno decelerometar koristi se u situacijama kada je potrebno ispitati vozila koja se iz nekog razloga ne mogu ispitivati na uređajima s valjcima. Tada je potrebno efikasnost kočnog sustava vozila odrediti na cesti korištenjem decelerometra.

Razlozi iz kojih je potrebno koristiti uređaj za mjerenje usporenja vozila, a ne uređaje s valjcima mogu biti različiti. Jedan od razloga mogu biti fizički gabariti vozila zbog kojih se mora primjenjivati ova metoda umjesto valjaka. Daleko češći razlog jest vrsta pogona vozila koja diktira ispitivanje. Pri tome se misli na vozila koja su opremljena pogonom na sva četiri kotača, a da se ne radi o klasičnim terenskim vozilima. Terenska vozila imaju tri diferencijala koje je moguće blokirati kako bi se ispitala efikasnost kočnica na valjcima. Kod cestovnih vozila koja nisu predviđena za terensku vožnju već se uključivanjem pogona na sva četiri kotača želi postići sigurnija vožnja i bolje vozne karakteristike postoji opasnost od oštećenja vozila prilikom ispitivanja kočnica na valjcima. Shodno tome, uputno je izbjegavati ispitivanja na valjcima ukoliko nije moguće isključiti pogon jedne od osovina te ispitivati vozilo uređajem za mjerenje usporenja. Danas je sve više takvih vozila pa postoji sve veća potreba za ispitivanjem kočnih svojstava ovom metodom.

Ispitivanje kočnica korištenjem uređaja za mjerenje usporenja uglavnom je sličan postupak bez obzira na uređaj koji se koristi iako postoje neke razlike za specifične uređaje ovisno o karakteristikama.

Da bi se moglo provesti ispitivanje potrebno je uređaj ispravno postaviti unutar vozila. Neki uređaji zahtijevaju postavljanje točno u smjeru vožnje i niveliranje s podlogom korištenjem libele, dok je kod drugih sasvim svejedno kakav je položaj uređaja u vozilu. Najčešće je moguće i mjerenje sile pritiska na pedal kočnice. Mjerenje sile vrši se pomoću dinamometra koji je spojen na uređaj i postavljen na pedal kočnice ili stopalo ispitivača. Kada je sva oprema spremna, moguće je početi s mjerenjima.

Ispitivanje započinje zaletavanjem vozila na potrebnu brzinu s koje je kočenjem moguće utvrditi efikasnost kočnog sustava. Brzina može biti propisana za određeni

Uređaj za mjerenje usporenja vozila

uređaj ili proizvoljna. Kada vozilo postigne dovoljnu brzinu započinje se s procesom kočenja. Vozač pritišće pedalu kočnice i uređaj počinje s mjerenjem usporenja. Mjerenje se vrši do potpunog zaustavljanja vozila.

Nakon mjerenja uređaj izračunava relevantne podatke i ispisuje rezultate na temelju kojih se određuje efikasnost kočnog sustava vozila.

Osim radne kočnice vozila, uređajima za mjerenje usporenja moguće je ispitivati i parkirnu kočnicu te kočnice priključnog vozila.

2. Pregled tržišta sličnih uređaja

Kako bi se u potpunosti moglo procijeniti ovaj uređaj, potrebno je razmotriti konkurentske uređaje koji se mogu pronaći na tržištu. Radi se o elektroničkim decelerometrima, a trenutno je u uporabi cijeli niz različitih uređaja i proizvođača. Stoga će se razmotriti samo neki od postojećih koji su česti u uporabi i za koje su dostupne specifikacije.

2.1 MAHA VZM 100

Uređaj VZM 100 najčešće je korišten uređaj za mjerenje usporenja vozila u stanicama za tehnički pregled. Proizvođač je njemačka tvrtka MAHA, jedna od vodećih svjetskih proizvođača dijagnostičke i ispitne opreme za automobile, gospodarska vozila, motocikala te vozila za posebne namjene. Također isporučuju i uređaje te opremu za radionice i servise. Osim uređaja za ispitivanje kočnica, u koje spada i VZM 100, MAHA proizvodi i uređaje za ispitivanje ovjesa, uređaje za mjerenje tehničkih karakteristika vozila i emisija te uređaje za ispitivanje farova. Posebnu grupu proizvoda čine i autodizalice.

Uređaj VZM 100 namjenjen je prvenstveno ispitivanju radne kočnice vozila, i to sa ili bez priključenog dinamometra ovisno o potrebi. Kada je dinamometar priključen, mjerenje započinje pritiskom na pedalu kočnice, tj. na dinamometar koji je za nju pričvršćen. Ako dinamometar nije priključen, uređaj sam započinje mjerenje kada započne značajno usporavanje vozila. Uz ispitivanje radne kočnice, uređajem je moguće ispitivati i parkirnu kočnicu te usporenje prikolice.

Uređaj karakterizira nekoliko glavnih komponenti:

1. Membranska tipkovnica
2. LCD ekran
3. Pisač
4. Vijak za postavljanje uređaja u vodoravan položaj
5. Libela
6. Priključak za dinamometar

Komponente su prikazane na slici 4.

Uređaj za mjerenje usporenja vozila



Slika 4. Izgled uređaja MAHA VZM 100, [6]

Na temelju izmjerenih vrijednosti maksimalnog te srednjeg usporenja utvrđuje se ispravnost kočnica ispitivanog vozila. Kako bi se ispitivanje moglo izvršiti, uređaj mora biti vodoravno položen u vozilu u smjeru vožnje. Glavne karakteristike uređaja prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike MAHA VZM 100

Maksimalno usporenje	10 m/s²
Maksimalna sila na pedali kočnice	1 kN
Preciznost mjerenja	≤ 0,1 m/s²
Memorija	1 privremeno, 6 trajnih mjerenja bez grafičkog prikaza
Baterija	6 V / 1,2 Ah, približno 30 mjerenja
Masa	≈ 1,1 kg
Dimenzije	120 x 65 x 245 mm

2.2 MAHA VZM 300

Ovaj uređaj novija je verzija prethodno opisanog VZM 100. Proizvođač je također tvrtka MAHA. Mjerenje usporenja postiže se pomoću piezoelektričnog senzora. Uređaj je opremljen i žiroskopskim senzorom pomoću kojeg se automatski kompenziraju pogreške nastale zbog poniranja prednjeg kraja vozila pri usporavanju. Na uređaj je moguće priključiti i dinamometar za mjerenje sile na pedali kočnice te do 4 dodatna senzora. Među njima je i senzor sile trenja između podloge i vozila. Uređaj je opremljen printerom i LCD zaslonom.

Ispravnost kočnica utvrđuje se kao i kod prethodnog modela mjerenjem srednjeg usporenja vozila. Moguće je mjerenje usporenja prikolice bez isključivanja kočnica vučnog vozila.

Uređaj MAHA VZM 300 prikazan je na slici 5.



Slika 5. Izgled uređaja MAHA VZM 300, [8]

Glavne karakteristike uređaja MAHA VZM 300 sadržane su u tablici 2.

Tablica 2. Karakteristike MAHA VZM 300

Maksimalno usporenje	20 m/s²
Maksimalna sila na pedali kočnice	1 kN
Senzor sile trenja	0 – 20 kN
Preciznost mjerenja	< 1% krajnjeg rezultata
Memorija	14 mjerenja s grafičkim prikazom
Baterija	6 V / 1,8 Ah, približno 50 mjerenja
Masa	1,1 kg
Dimenzije	124 x 55 x 245 mm

2.3 Bowmonk BrakeCheck

BrakeCheck je uređaj za mjerenje usporenja vozila tvrtke Bowmonk. Bowmonk je jedan od vodećih proizvođača opreme za ispitivanje kočnica. 2006. godine Bowmonku je pridružena i tvrtka Tapley Instrumentation, proizvođač prenosivih decelometara, čime je dodatno učvršćen njihov snažan položaj na tržištu. Uz digitalne, Bowmonk proizvodi i analogne decelerometre, kao i opremu za radionice i održavanje te dijagnostiku motornih vozila. To su uređaji za mjerenje emisija ispušnih plinova, ispitivanje električnih uređaja u vozilu, ispitivanje senzora, filteri ispušnih plinova za radionice i drugi.

BrakeCheck koristi se diljem svijeta za ispitivanje efikasnosti kočenja svih klasa vozila od motocikla do gospodarskih vozila. Uređaj utvrđuje efikasnost radne i parkirne kočnice mjerenjem usporenja vozila, a ispitivanje se vrši tijekom usporavanja vozila od približno 30 km/h do potpunog zaustavljanja. Kako bi ispunio svoju namjenu, uređaj je opremljen 3-osnim akcelerometrom koji mjeri maksimalno i srednje usporenje u smjeru kretanja vozila i smjeru suprotnom kretanju te maksimalno bočno ubrzanje vozila. Također, uređaj izračunava i put kočenja te brzinu vozila. Rezultati mjerenja izraženi su u odnosu na gravitacijsko ubrzanje.



Slika 6. Izgled uređaja Bowmonk BrakeCheck, [9]

Pri izvođenju ispitivanja uređaj je potrebno pozicionirati u vozilu na prednje sjedalo ili pod. Pritom je bitno da je usmjeren u smjeru vožnje i što više moguće paralelan sa cestom. Preko 3 tipke se podešava za korištenje, a rezultati mjerenja se pokazuju na zaslonu. Ispis podataka vrši se na printeru koji je zasebna jedinica, a povezuje se s uređajem putem infracrvenog zračenja. Uređaj i printer prikazani su na slici 6., dok su glavne karakteristike sadržane u tablici 3.

Tablica 3. Karakteristike Bowmonk BrakeCheck

Preciznost mjerenja	+/- 0,02g
Baterija	6 V, približno 120 mjerenja
Masa	0,4 kg
Dimenzije	170 x 80 x 35 mm

2.4 Bowmonk AFM2

AFM2, proizvođača Bowmonk kao i prethodni BrakeCheck, uređaj je koji mjeri i bilježi maksimalno usporenje vozila. Uz cestovna vozila, koristi se i za ispitivanje kočnica zrakoplova gdje je našao i najveću primjenu.

Tijekom ispitivanja uređaj mjeri usporenje vozila u odnosu na gravitaciju, kao i faktor trenja na ispitnoj stazi. Također, uređaj kompenzira poniranje prednjeg kraja vozila na početku usporavanja.

Uređaj je prije ispitivanja potrebno pozicionirati na sjedalo vozila. Nakon ispitivanja rezultati se ispisuju na zaslonu te printaju na integriranom printeru. Sve naredbe izvršavaju se preko 7 tipki na uređaju. Izgled uređaja prikazan je na slici 7., a karakteristike u tablici 4.



Slika 7. Izgled uređaja Bowmonk AFM2, [9]

Tablica 4. Karakteristike Bowmonk AFM2

Raspon mjerenja	0 – 1,4g
Preciznost mjerenja	< 2%
Memorija	128 kb, 99 mjerenja
Baterija	6 V
Masa	2,75 kg
Dimenzije	140 x 220 x 80 mm

2.5 BrakeSafe

BrakeSafe je uređaj za mjerenje usporenja prikladan za uporabu u svim vrstama vozila. Proizvodi ga tvrtka Turnkey Instruments sa sjedištem u Velikoj Britaniji. Turnkey Instruments bavi se proizvodnjom idustrijskih i znanstvenih instrumenata. Uz proizvode za ispitivanje kočnica cestovnih vozila, u koje spada BrakeSafe, proizvode i uređaje za ispitivanje kočnica željezničkih vozila te svih vrsta terenskih i vozila za posebne namjene. Također, proizvode i instrumente za kontrolu kvalitete zraka, kontrolu buke i druge proizvode slične namjene.

BrakeSafe mjeri maksimalno i srednje usporenje vozila te akceleraciju u bočnom smjeru. Uz to, BrakeSafe moguće je koristiti i za mjerenje profila ubrzanja vozila i vremena potrebnog za postizanje određene brzine. Uređajem je moguće mjeriti i efikasnost kočnica prikolice. Glavne karakteristike uređaja sadržane su u tablici 5.



Slika 8. Izgled uređaja BrakeSafe, [10]

Tablica 5. Karakteristike BrakeSafe

Raspon mjerenja	0 – 1,4g
Preciznost mjerenja	< 2%
Memorija	4Mb integrirane memorije, 2Gb SD kartica
Baterija	6 V NiMH, 12 sati rada
Masa	1 kg
Dimenzije	230 x 130 x 65 mm

Uređaj za mjerenje usporenja vozila

Tijekom mjerenja uređaj nije potrebno posebno postavljati unutar vozila, već ga je moguće staviti bilo gdje u vozilu. Samopodesiv je i automatski se prilagođava smjeru kretanja vozila. Moguće je mjerenje sile pritiska na pedalu kočnice te mjerenje vremena odziva kočnog sustava vozila.

Rezultati mjerenja ispisuju se na LCD ekranu, a printaju na integriranom printeru. Te komponente vidljive su na prikazu uređaja na slici 8.

3. Uređaj za mjerenje usporenja vozila DM01

Pravilnikom o tehničkim pregledima vozila propisani su uvjeti za obavljanje redovitih tehničkih pregleda koje moraju ispunjavati sve stanice za tehnički pregled u Republici Hrvatskoj. Među tim uvjetima navodi se kako svaka stanica za tehnički pregled mora posjedovati uređaj za mjerenje usporenja vozila na cesti. Uređaj mora pokazivati usporenje vozila u m/s^2 ili postotcima u odnosu na gravitacijsko ubrzanje te mora biti opremljen grafičkim pisačem. Također, uređaj treba biti u mogućnosti mjeriti i silu pritiska na pedalu kočnice vozila.

Kako su uređaji koji se koriste u stanicama za tehnički pregled uglavnom stari, postojala je potreba za nabavljanjem novih. Uz već navedene te ekonomske i druge razloge procijenjeno je da je najbolje rješenje razviti i izraditi vlastiti uređaj za mjerenje usporenja vozila koji zadovoljava tražene uvjete.

3.1 Opis uređaja

Uređaj DM01 troosni je akcelerometar s pisačem integriranim u kućište uređaja. Isporučuje se u kovčegu, a uz njega i sav standardni pribor potreban za njegovo korištenje i normalan rad.

Kompletna oprema uređaja, prikazana na slici 9. uključuje:

1. Uređaj za mjerenje usporenja vozila
2. Adapter za punjenje uređaja
3. Vakuumski držač za prihvat uređaja na vjetrobransko staklo
4. Dinamometar za mjerenje sile pritiska na pedalu kočnice



Slika 9. Uređaj za mjerenje usporenja vozila DM01 sa standardnim priborom

Uređaj je smješten u kućištu dimenzija 100 x 160 x 40 mm. Kućište uređaja izrađeno je od polimera i crne je boje. Na njemu se nalaze 2 priključka, s desne strane uređaja

priključak za punjenje, a s lijeve za vezu s dinamometrom. Na prednjoj strani uređaja nalazi se pisač te zaslon za upravljanje uređajem i unošenje podataka. Pisač se uključuje automatski s uređajem i prema potrebi ispisuje rezultate ispitivanja ili druge podatke. Koristi papir širine do 58 mm koji se zamjenjuje nakon potrošnje cijele role. Zaslon uređaja veličine je 60 x 45 mm i osjetljiv je na dodir. Nije nužan dodir prstom, već je zaslon osjetljiv i na druge podražaje. Na njemu se osim naredbi ispisuju i rezultati provedenih mjerenja.



Slika 10. Izgled uređaja DM01

3.2 Funkcije uređaja

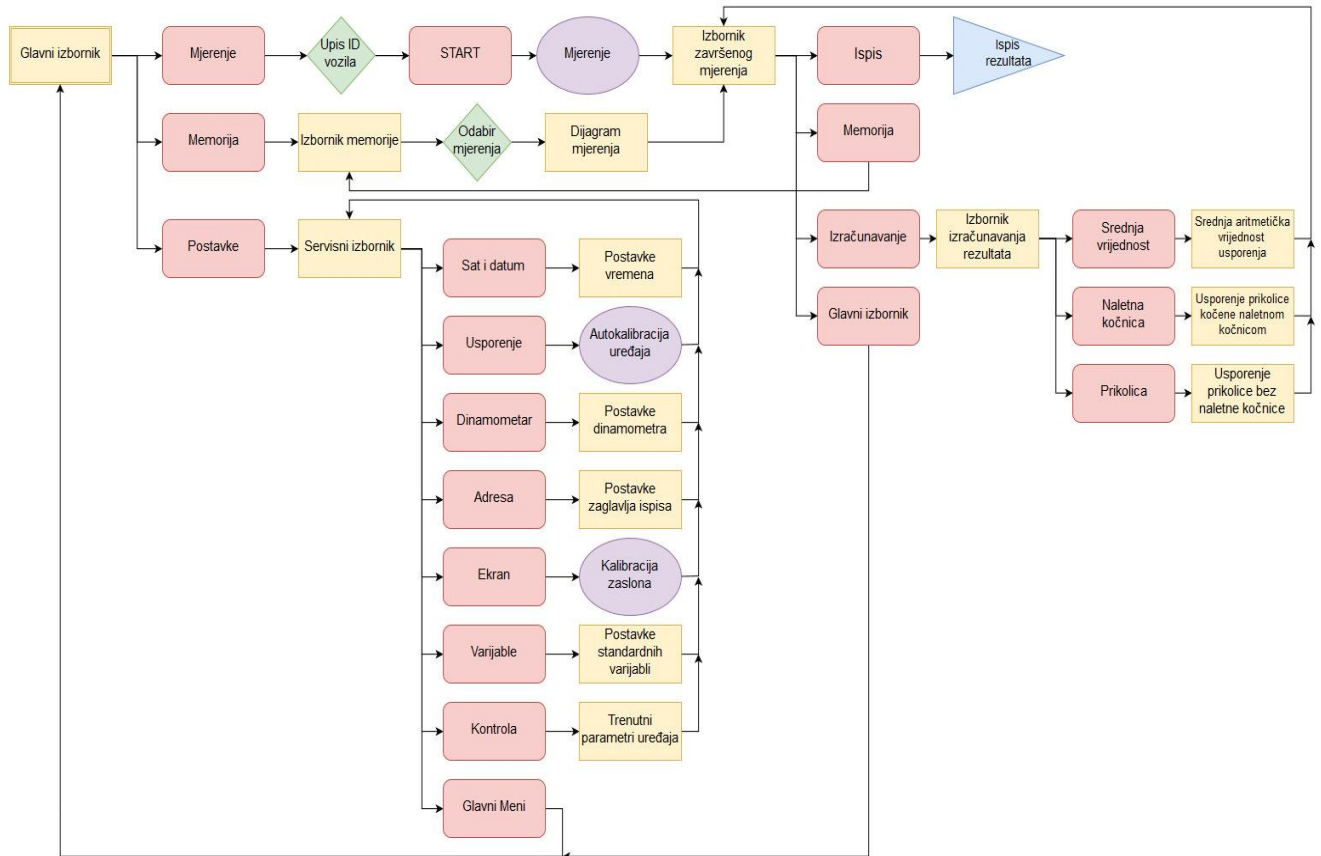
Uređaj je kao što mu i ime kaže namjenjen prvenstveno mjerenju usporenja. Za podešavanje uređaja omogućen je unos različitih podataka i promjena niza postavki kako bi se mjerenje moglo što kvalitetnije obaviti. Detaljan prikaz funkcija i kretanja kroz izbornike uređaja DM01 prikazan je na slici 12

Nakon što se uređaj uključi, pritiskom na lijevu tipku pisača, na zaslonu pojavljuje se glavni izbornik s tri mogućnosti odabira (MJERENJE, MEMORIJA, POSTAVKE) te tipkom za isključivanje.



Slika 11. Glavni izbornik

Uređaj za mjerenje usporenja vozila



Slika 12. Shema kretanja kroz izbornike uređaja DM01

3.2.1 Mjerenje

Odabirom tipke „MJERENJE“ uređaj započinje s pripremom za ispitivanje. Otvara se prozor u kojem je moguće upisati identifikaciju vozila koje se želi ispitivati te pritiskom na tipku „START“ uređaj izvršava automatsko nuliranje i započinje s mjerenjem akceleracije vozila. Identifikacija vozila upisuje se u bijeli prozor. Nakon što ga se dotakne, na zaslonu se otvara tipkovnica pomoću koje se upisuje. Zaslone uređaja prije početka mjerenja i tipkovnica prikazani su na slikama 13. i 14.



Slika 13. Priprema uređaja za mjerenje



Slika 14. Tipkovnica za unos podataka u uređaj

Po unosu podataka o identifikaciji započinje se mjerenje tijekom kojeg uređaj bilježi ubrzanja vozila i izračunava srednje usporenje. Kada uređaj završi mjerenje podatci se ispisuju na zaslonu, a nakon toga se mogu ispisati na pisaču te se otvara novi izbornik koji se odnosi na provedeno mjerenje.



Slika 15. Izgled izbornika po završetku pojedinog mjerenja

Uređaj nudi četiri mogućnosti:

1. Ako se želi ponovno ispisati podatke putem pisača odabire se tipka „Ispis.“ Pritom je moguće ispisati brojčane rezultate mjerenja sa ili bez dijagrama, ovisno o odabiru. Ispis dijagrama regulira se pritiskom na *checkbox* „Graf.“
2. Osim ispisa, moguće je odabrati povratak na memoriju uređaja pritiskom na tipku „Memorija“
3. Nakon odabira tipke „Izračunavanje“ otvara se izbornik koji nudi izračunavanje srednje aritmetičke vrijednosti usporenja, izračunavanje usporenja naletne kočnice, te izračun usporenja priključnog vozila
4. Povratak na glavni izbornik pritiskom na tipku „Glavni izbornik.“

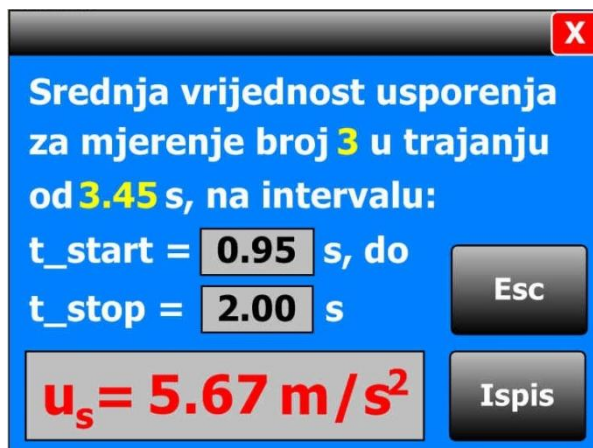
Izbornik izračunavanja rezultata prikazan je na slici 16.



Slika 16. Izgled izbornika izračunavanja rezultata

Izračunavanje srednje aritmetičke vrijednosti usporenja

Odabirom ove vrste izračuna uređaj izračunava traženu vrijednost za obavljeno mjerenje. Izračun se vrši za određeni interval mjerenja. Interval je izražen početnim vremenom t_{start} te krajnjim vremenom t_{stop} u sekundama. Uređaj automatski odabire interval, no moguće ga je i ručno podesiti unošenjem vremena. Nakon izračuna moguće je ispisati rezultat na pisaču.



Slika 17. Izračun srednjeg aritmetičkog usporenja

Naletna kočnica

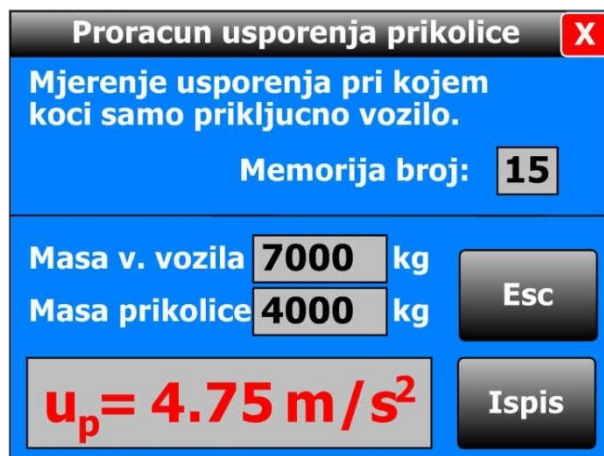
Izračun srednjeg usporenja vozila pri kočenju naletnom kočnicom temelji se na dva mjerenja. Jedno mjerenje je potrebno izvršiti kada koč i vučno vozilo i prikolica, a drugo kada koči samo vučno vozilo. Također, potrebno je unijeti i podatke o masama vučnog vozila i prikolice. Na temelju tih podataka uređaj izračunava kočenje naletne kočnice prikolice. Mase vozila u kilogramima unose se u odgovarajuće prazne prozore, a moguć je i odabir mjerenja koja se uzimaju u obzir pri izračunu. I ovaj izračun je moguće ispisati na pisaču uređaja.



Slika 18. Izračun usporenja prikolice kočene naletnom kočnicom

Prikolica

Za izračun kočenja prikolice uzima se samo jedno mjerenje i to ono kada cijeli sklop koči samo priključno vozilo. Kao i kod naletne kočnice, potrebno je unijeti podatke o masama vučnog i priključnog vozila u kilogramima. Također je moguć odabir mjerenja iz memorije. Na osnovu unešenig podataka uređaj izračunava usporenje prikolice i pokazuje rezultat. Prema potrebi moguć je ispis na pisaču uređaja.



Slika 19. Izračun usporenja prikolice

3.2.2 Memorija



Slika 20. Izgled izbornika dostupne memorije

Ukoliko se na glavnom izborniku uređaja odabere „MEMORIJA“, na novom prozoru prikazuju se posljednjih 15 mjerenja koja je uređaj izvršio. Za svako od tih mjerenja zabilježeni su podatci o mjerenju na osnovu kojih se naknadno može iscrtati dijagram na kojem su prikazane krivulje usporenja vozila te sile pritiska na pedalu kočnice ukoliko je na uređaj priključen dinamometar. Također, za svako mjerenje dostupno je izračunato srednje usporenje vozila.



Slika 21. Dijagram mjerenja s prikazanom krivuljom usporenja vozila

Dodirom na zaslon otvara se novi izbornik koji se odnosi na odabrano mjerenje. Izbornik je jednak onome nakon izvršenog mjerenja, koji je prikazan na slici 15.

3.2.3 Postavke

Odabirom naredbe „POSTAVKE“ na glavnom izborniku otvara se servisni izbornik na kojem se nalazi niz mogućnosti promjene osnovnih parametara uređaja. Sve naredbe osim „Adrese“ i „Kontrole“ zaključane su lozinkom kako bi se minimizirala mogućnost zlouporabe uređaja.

Na servisnom izborniku osam je mogućih naredbi:

1. Sat i datum
2. Usporenje
3. Dinamometar
4. Adresa
5. Ekran
6. Varijable
7. Kontrola
8. Glavni Meni



Slika 22. Izgled servisnog izbornika

Sat i datum

Unošenjem lozinke otključava se ova i sve ostale naredbe. Moguće je podesiti trenutno vrijeme i datum uređaja. Prema njemu se ispisuje vrijeme svakog pojedinog ispitivanja.



Slika 23. Postavke vremena

Usporenje

Unutar postavki usporenja izvodi se autokalibracija uređaja. Uređaj se zakkreće na svaku od šest ploha horizontalno na ravnoj površini. Zakretanjem započinje proces autokalibracije plohe tijekom kojeg uređaj bilježi položaj i zakret. Uređaj zvučnim signalom obavještava o uspješnosti kalibracije. Tijekom kalibracije zaslon poprima žutu boju te zelenu po uspješnom završetku. Ukoliko uređaj nije horizontalno postavljen ekran poprima crvenu boju. Postupak se ponavlja za svaku plohu. Plohe uređaja obilježene su kao pozitivne, odnosno negativne X, Y, Z plohe. Kalibracijom pojedine plohe pojavljuje se kvačica u *checkboxu* koji označava pojedinu plohu te se njen položaj ispisuje na pisaču.

Na primjer, stražnja ploha uređaja obilježena je kao negativna Z ploha. Kada se uređaj zakrene na stražnju plohu obavlja se kalibracija te plohe. Nakon kalibracije pojavljuje se kvačica u *checkboxu* Z minus. Uređaj zatim ispisuje koordinatu položaja stražnje plohe na pisaču.

Nakon kalibracije svih ploha izračunavaju se vrijednosti *span* i *offset* ravnina X, Y, Z. Vrijednosti se nakon toga ispisuju na zaslonu u predviđenim poljima, a potom i na pisaču uređaja.

Offset označava srednju vrijednosti koordinata položaja pozitivne i negativne plohe, dok je vrijednost *span* jednaka srednjoj apsolutnoj vrijednosti koordinata položaja pozitivne i negativne plohe.



	span	offset	+	-
X:	256.78	2.3456	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Y:	261.23	-3.456	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Z:	249.87	5.4321	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

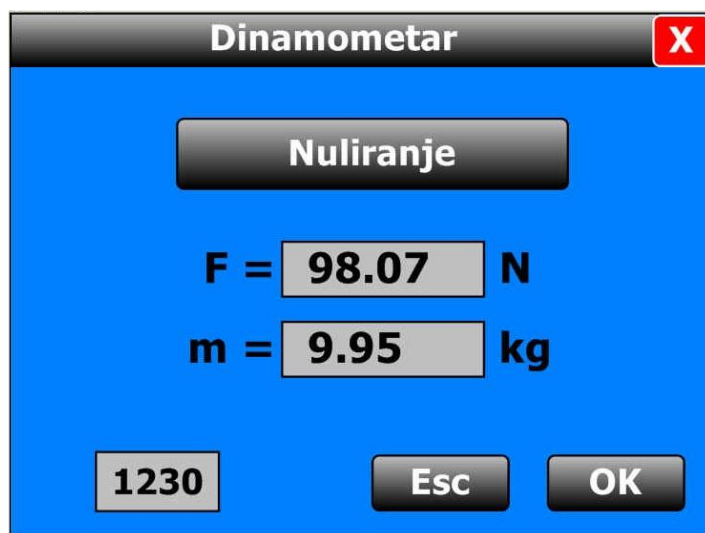
Postavi instrument,
horizontalno, na svaku
od 6 ploha !

Esc OK

Slika 24. Autokalibracija uređaja DM01

Dinamometar

Nakon spajanja dinamometra s uređajem moguće je umjeravanje. Pokazuje se vrijednost sile na dinamometru, odnosno mase koja uzrokuje silu. Moguće je unosenje nulte vrijednosti od koje započinje mjerenje. Nuliranjem se vrijednosti sile i mase vraćaju na nulu.



Nuliranje

F = 98.07 N

m = 9.95 kg

1230 Esc OK

Slika 25. Umjeravanje dinamometra

Adresa

Ovo je jedna od postavki koju je moguće urediti bez unosenja lozinke. Podatci navedeni ovdje ispisuju se u zaglavlju mjerenja prilikom ispisa na pisaču.



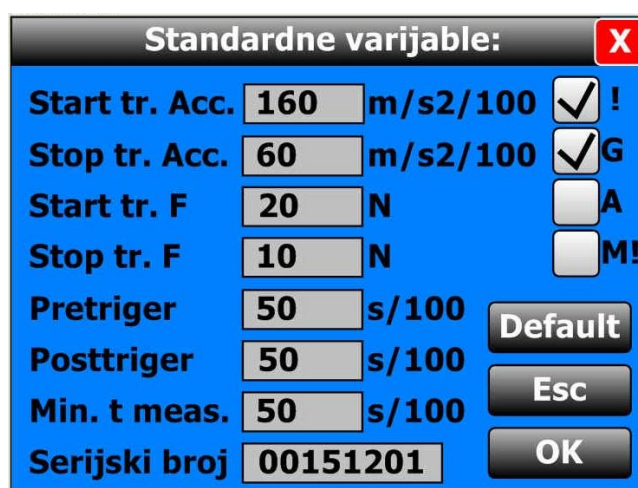
Slika 26. Adresa u zaglavlju ispisa

Ekran

Pritiskom na naredbu „Ekran“ započinje kalibracija zaslona jednostavnim pritiskom na gornji desni i donji lijevi kut.

Varijable

U postavci varijable navedene su neke od standardnih varijabli koje se koriste za mjerenje uređajem. Prema tome, moguće je podešavati početnu akceleraciju za koju počinje mjerenje, kao i krajnju za koju se mjerenje završava. Također, moguće je podesiti i početnu i krajnju silu mjerenja. Sve vrijednosti se vraćaju na osnovne postavke pritiskom na tipku „Default.“ Također, ovdje je moguće i uređivanje postavki ispisa koje se nalaze u gornjem desnom kutu zaslona. Sve postavke varijabli objašnjene su u tablici



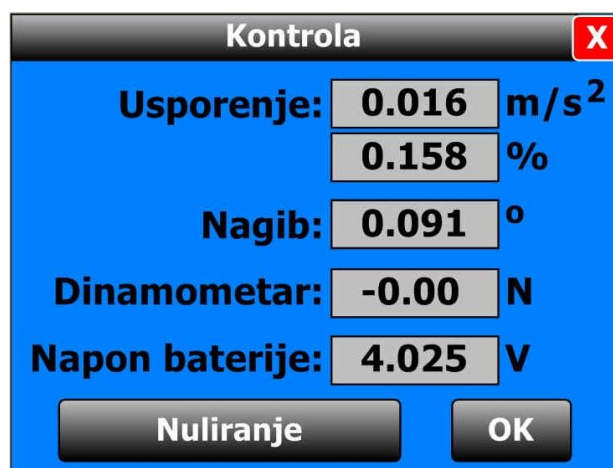
Slika 27. Standardne varijable uređaja

Tablica 6. Objašnjenje varijabli uređaja DM01

Start tr. Acc.	Vrijednost akceleracije pri kojoj započinje mjerenje usporenja
Stop tr. Acc.	Vrijednost akceleracije pri kojoj završava mjerenje usporenja
Start tr. F	Vrijednost sile pritiska na pedalu kočnice pri kojoj započinje mjerenje usporenja
Stop tr. F	Vrijednost sile pritiska na pedalu kočnice pri kojoj završava mjerenje usporenja
Min. t meas.	Minimalno trajanje mjerenja
Checkbox !	Prikaz pogreške mjerenja na ispisu
Checkbox G	Ispis dijagrama profila usporenja na listiću
Checkbox A	Automatsko ispisivanje rezultata po završetku mjerenja
Checkbox M!	Pohrana mjerenja u memoriju

Kontrola

Izborom postavke „Kontrola“ prikazuju se trenutni parametri uređaja prema kojima je moguće vršiti općenitu kontrolu vrijednosti. Usporenje je osim u m/s^2 izraženo i u postotku u odnosu na gravitacijsko ubrzanje. Također su navedene i trenutne vrijednosti nagiba uređaja te sila pritiska na dinamometru. Na poslijetku i napon baterije, prema kojemu je moguće procijeniti preostalo vrijeme rada uređaja. Moguće je izvršiti nuliranje pri čemu se vrijednosti vraćaju na nulu te su tako sve iduće vrijednosti nakon pomicanja vezane za trenutni položaj uređaja.



Slika 28. Zaslon kontrole uređaja

3.3 Način rada uređaja

Akcelerometri su uređaji koji se koriste za mjerenje ubrzanja i promjena u položaju. Uređaji su osjetljivi na linearnu akceleraciju kao i na lokalno gravitacijsko polje pa je prema tome njima moguće odrediti položaj i orijentaciju te opisati kretanje. Akcelerometri imaju vrlo široku primjenu. Osim za mjerenje ubrzanja/ usporenja vozila, akcelerometri koriste se u razne druge svrhe. Primjenjuju se za mjerenje vibracija, pa su tako korisni za mjerenje seizmičkih aktivnosti te razne vrste mjerenja u znanosti i industriji. U mobilnoj telefoniji koriste se za određivanje orijentacije zaslona uređaja, a svoju primjenu imaju i u kompjuterskoj tehnologiji. Također se primjenjuju i u medicinske svrhe i mnoge druge.

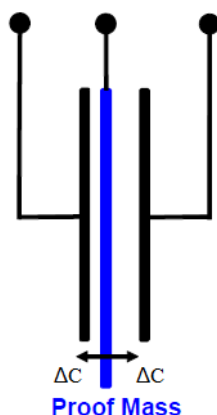
Najčešće vrste akcelerometara su:

- Kapacitivni – stvaraju električni napon ovisan o razmaku dvaju planarnih površina
- Piezoelektrični – sadrže kristalne strukture koje stvaraju električni napon kada dođe do njihove deformacije

Uređaj DM01 koristi troosni kapacitivni akcelerometar. Troosni akcelerometar mjeri dinamičko ubrzanje uzrokovano pokretom te statičko ubrzanje, odnosno gravitaciju. Osjetljiv je na razliku između akceleracije senzora i lokalnog gravitacijskog polja. Osim ubrzanja, pomoću troosnog akcelerometra moguće je odrediti i bočni te uzdužni nagib uređaja uzimajući u obzir zakret vektora gravitacijskog polja.

Mjerenja se vrše pomoću senzora u uređaju. Ulogu senzora imaju kapacitivni mjerni pretvornici. Senzori mjere razliku između akceleracije u referentnom sustavu akcelerometra i vektora gravitacijskog polja. Prilikom ubrzanja inercijska sila uzrokuje otklon referentne mase unutar uređaja koja je pozicionirana između osjetnih površina. Kako se masa giba mijenja se razmak između referentne mase i osjetnih površina te dolazi do promjene električnog kapaciteta (ΔC) sustava. Promjena kapaciteta očituje se kao električni napon.

Na slici 29. prikazan je pojednostavljeni model pretvornika.



Slika 29. Model pretvornika, [11]

3.4 Postupak mjerenja usporenja uređajem

Kako bi se moglo započeti s mjerenjem usporenja potrebno je uređaj postaviti unutar vozila. Iz tog razloga uređaj je opremljen vakuumskim držačem za montiranje na vjetrobransko staklo. Nije potrebno niveliranje uređaja već je dovoljno samo osigurati da uređaj nepomično stoji na mjestu. Držač se pričvršćuje na uređaj pomoću vijka koji se zavija na stražnju stranu kućišta uređaja. Izgled držača prikazan je na slici 30., a spoj uređaja i držača na slici 31.



Slika 30. Vakuumski držač uređaja DM01

Uređaj se zatim vakuumskim držačem pričvršćuje na vjetrobransko staklo. Držač ima kuglični zglob kako bi se uređaj mogao pozicionirati za što jednostavniju uporabu. Ukoliko se tijekom ispitivanja mjeri i sila pritiska na pedalu kočnice potrebno je koristiti i dinamometar. Dinamometar se pričvršćuje na donju stranu stopala trakom za pričvršćivanje. Dinamometar se zatim priključuje na uređaj. Uređaj DM01 zajedno sa priključenim dinamometrom prikazan je na slici 32.



Slika 31. Spoj vakuumskog držača i uređaja

Uređaj za mjerenje usporenja vozila

Nakon što je sva oprema priključena uređaj se uključuje. Prije mjerenja, unutar postavki moguće je izvršiti kontrolu uređaja. Kada se provjere vrijednosti prelazi se na sam postupak mjerenja.



Slika 32. Uređaj DM01 s priključenim dinamometrom

Pritiskom na tipku MJERENJE na glavnom izborniku, otvara se prozor za pripremu mjerenja prikazan ranije na slici 13. U praznom okviru upisuje se identifikacija vozila, najčešće je to registarska oznaka vozila. Pritiskom na tipku START uređaj izvršava automatsko nuliranje i spreman je za mjerenje. Od tog trenutka uređaj bilježi akceleraciju vozila do kraja mjerenja.

Vozilo započinje s ubrzavanjem, a u trenutku pritiska na pedalu kočnice uređaj započinje s mjerenjem usporenja vozila. Ukoliko je dinamometar priključen mjerenje se započinje postizanjem minimalne sile na pedalu kočnice. Tijekom procesa kočenja uređaj bilježi profil usporenja u obliku dijagrama te izračunava maksimalno i srednje usporenje vozila te silu pritiska na pedalu kočnice. Po završetku mjerenja rezultati se ispisuju na zaslonu uređaja i potom na pisaču.

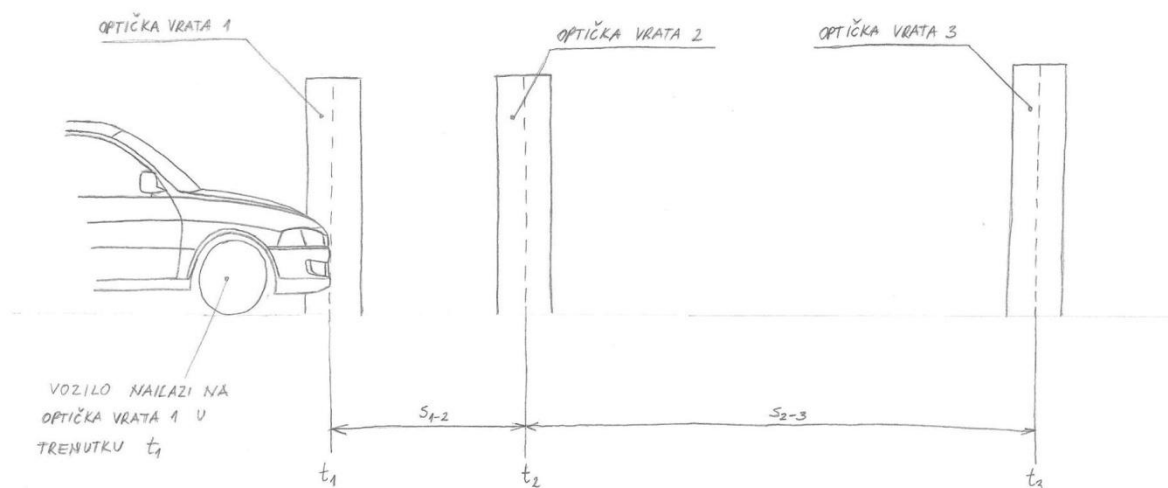
4. Validiranje uređaja za mjerenje usporenja vozila

Validacija uređaja postupak je kojim se određuje njegova sposobnost da obavlja svrhu za koju je namjenjen. Validacija se provodi kako bi se dokazalo da neki mjerni instrument nema samo prividnu ili pojavnu valjanost.

Validacijom uređaja za mjerenje usporenja vozila DM01 želi se ispitati preciznost mjerenja srednjeg usporenja vozila.

4.1 Predviđeni postupak mjerenja

Proces validiranja uređaja provest će se na temelju usporedbe podataka izmjerenih na uređaju te podataka izračunatih proračunom. Izračun se temelji na podacima utvrđenim mjerenjima na ispitnoj stazi korištenjem optičkih vrata. Mjerenjem se određuje vrijeme potrebno za prelazak poznatog, unaprijed određenog puta ispitnim vozilom. Postupak je prikazan na slici 33.



Slika 33. Shematski prikaz postupka mjerenja usporenja vozila pomoću optičkih vrata

Na stazu su postavljena troja optička vrata. Međusobno su udaljena na poznatim udaljenostima, pa je tako udaljenost, tj. put koji vozilo mora prijeći između vrata 1 i vrata 2 označena sa s_{1-2} , a udaljenost između vrata 2 i vrata 3 sa s_{2-3} . Prilikom prolaska vozila kroz optička vrata 1 u trenutku t_1 započinje mjerenje vremena sve do prolaska vozila kroz vrata 2. Na temelju vremena Δt_{1-2} i poznate udaljenosti s_{1-2} izračunava se srednja brzina vozila pri prolasku kroz vrata 2, korištenjem sljedećeg izraza:

$$\overline{v_2} = \frac{s_{1-2}}{t_{1-2}}.$$

U trenutku t_2 kada vozilo prolazi kroz druga vrata započinje drugo mjerenje vremena. Nakon prolaska drugih vrata vozilo usporava, a mjerenje vremena završava u trenutku t_3 kada vozilo prolazi kroz treća optička vrata. Izmjereno vrijeme Δt_{2-3} , uz već ranije

poznati put s_{2-3} te srednja brzina vozila v_2 omogućuju izračun srednje brzine vozila na segmentu s_{2-3} . Srednja brzina vozila v_3 izračunava se korištenjem izraza:

$$\overline{v_3} = \frac{2 \cdot s_{2-3}}{t_{2-3}} - \overline{v_2}.$$

Kako je cilj odrediti samo srednje usporenje između drugih i trećih vrata, navedeni podatci, tj. dva vremenska odsječka su nam dovoljni za izračun. Srednje usporenje vozila izračunava se pomoću izraza:

$$\bar{a} = \frac{\overline{v_3}^2 - \overline{v_2}^2}{2 \cdot s_{2-3}}.$$

Kako bi se moglo validirati uređaj potrebno je usporedno s mjerenjem vremena na ispitnoj stazi pomoću optičkih vrata mjeriti i srednje usporenje vozila pomoću uređaja u vozilu. Na taj se način za svako mjerenje dobivaju dvije vrijednosti srednjeg usporenja vozila koje je moguće usporediti i utvrditi odstupanja. Provođenjem niza ispitivanja može se utvrditi srednje odstupanje uređaja te standardnu devijaciju.

4.2 Odabrani postupak mjerenja

Iako je prvotno zamišljeno da se mjerenje izvrši prema postupku opisanom u prethodnom poglavlju, zbog nemogućnosti nabavke opreme za obavljanje takve vrste mjerenja odlučeno je da će se validiranje uređaja izvršiti korištenjem neke druge metode. Alternativne metode ispitivanja preciznosti uređaja su usporedba uređaja s drugim uređajem poznate preciznosti koji je već u uporabi za slična ispitivanja te pojednostavljena metoda mjerenja korištenjem zapornog sata umjesto svjetlosnih vrata. Kako je u pitanju ispitivanje preciznost uređaja potrebna je što manja pogreška u mjerenju. Shodno tome, izabran je postupak paralelnog mjerenja usporenja drugim uređajem. Rezultati mjerenja na oba uređaja usporedit će se i tako odrediti preciznost mjerenja.

4.3 Uređaj za usporedbu

Uređaj korišten za usporedbu mjerenih rezultata Driftbox proizvod je tvrtke Racelogic.

Driftbox uređaj radi na principu GPS tehnologije. Unutar uređaja nalazi se GPS senzor koji zajedno sa senzorima pokreta omogućuje mjerenje karakteristika vozila tijekom vožnje. Uređaj komunikacijom sa satelitima frekvencijom 10 Hz određuje trenutni položaj vozila. Korištenjem različitih postavki uređaja moguće je odrediti parametre od značaja za različita ispitivanja.



Slika 34. Izgled uređaja Driftbox, [14]

Ukoliko se želi mjeriti usporenje vozila, uređaj koristi „Performance Mode“ postavku rada. U tom režimu rada moguće je mjeriti i ubrzanje vozila, kao i put kočenja te sile koje se javljaju pri ubrzanju i usporenju vozila.

Osim „Performance Mode“ režima rada uređaj je moguće podesiti u još pet dodatnih postavki rada. Kako je uređaj razvijen sa svrhom mjerenja trkačkih karakteristika i korištenju u automobilizmu većina režima rada nisu relevantni za ispitivanja kočnih karakteristika vozila. Sve postavke rada uređaja pobrojani su u tablici 7.

Tablica 7. Postavke rada uređaja Driftbox

Postavke rada uređaja	Mogućnosti
Performance Mode	Mjerenje ubrzanja, usporenja, puta kočenja, sile
Drift Mode	Mjerenje brzine, zakreta vozila, bočne sile
Power Mode	Procjena snage na kotačima
Speed Display	Visoko precizni brzinomjer
Predictive Mode	Procjena prolaznih vremena
Laptiming Mode	Mjerenje prolaznih vremena

Uređaj Driftbox podržan je vlastitim programom za analizu izmjerenih podataka. Podatci se u uređaju spremaju na memorijsku karticu te se nakon prijenosa na računalo obrađuju software-om. Prema izmjerenim podacima moguće je s vrlo velikom preciznošću pratiti položaj vozila u svakom trenutku mjerenja. Bilježi se i profil svih mjerenih veličina u relevantnom vremenskom razdoblju iz kojih program izračunava tražene veličine poput srednjeg usporenja vozila. Također, vidljiv je i broj satelita s kojima je uređaj komunicirao u bilo kojem trenutku mjerenja.

Karakteristike uređaja Driftbox prikazane su u tablici 8.

Tablica 8. Karakteristike uređaja Driftbox

Raspon mjerenja	0 – 4 g
Razlučivost mjerenja	0,01 g
Preciznost mjerenja	< 1%
Preciznost pozicioniranja GPS-om	± 5 m
Frekvencija GPS-a	10 Hz
Memorija	SD kartica
Baterija	6-28 V , 100 mA
Masa	0,266 kg
Dimenzije	113 x 63 x 93 mm



Slika 35. Uređaj Driftbox s opremom, [14]

4.3.1 Način rada uređaja

Prije upotrebe uređaj je potrebno postaviti unutar ispitnog vozila kako bi se osigurao normalan rad uređaja i spriječile greške zbog pogrešnog rukovanja. Pomoću vakuumskih držača pričvršćuje ga se na vjetrobransko staklo ispitnog vozila. U uređaj je potrebno umetnuti memorijsku karticu na koju se spremaju sva zabilježena mjerenja.

Kada se postavi sva potrebna oprema, uređaj se spaja s pripadajućom baterijom i uključuje. Prilikom uključivanja uređaj automatski pronalazi vezu sa satelitima. Nakon povezivanja sa dostupnim satelitima uređaj je spreman za ispitivanja i od tog trenutka pa sve do isključivanja bilježi sva kretanja vozila i pripadajuće podatke. Uređajem je tako moguće izvršiti cijeli niz neprekinutih mjerenja bez potrebe za dodatnim rukovanjem. Nakon što se obave mjerenja rezultati se mogu prebaciti na računalo i analizirati pomoću programskog alata.



Slika 36. Baterija s adapterom uređaja Driftbox, [14]

4.3.2 Opis postupka mjerenja

Postupak mjerenja proveden je na ispitnoj pisti Zrakoplovno-tehničkog centra u Velikoj Gorici u suradnji s djelatnicima CVH. Na ispitnoj stazi bilo je potrebno izvršiti niz mjerenja kako bi se sa sigurnošću mogla odrediti preciznost uređaja DM01. Za potrebe usporedbe korišteni su uređaji Driftbox opisani u prethodnom poglavlju.

Prije ispitivanja u ispitno vozilo postavljaju se uređaji za mjerenje. Uređaji se pričvršćuju na vjetrobransko staklo pomoću vakuumskih držača te se postavljaju na prigodno mjesto kako bi se olakšalo rukovanje. Položaj opreme za mjerenje prikazan je na slici 37.



Slika 37. Postavljanje uređaja unutar ispitnog vozila

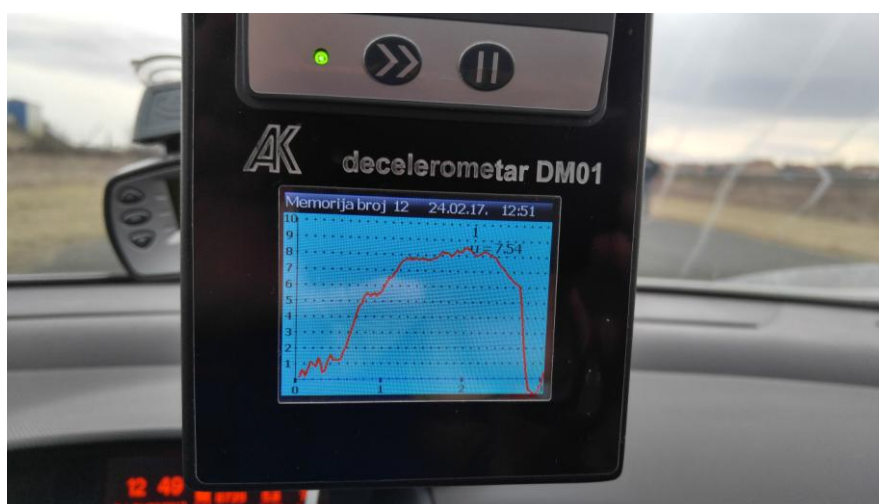
Nakon postavljanja svih mjernih uređaja unutar vozila, uređaj Driftbox priključuje se na bateriju te uključuje. Po uključivanju uređaj prolazi pripremu za mjerenje pri čemu

Uređaj za mjerenje usporenja vozila

pronalazi aktivne satelite s kojima uspostavlja vezu putem GPS-a. Uređaj DM01 uključuje se netom prije početka ispitivanja.

Prije ispitivanja izvršeno je jedno probno mjerenje radi zagrijavanja kočnica ispitnog vozila i kako bi se otklonile moguće pogreške prije početka samog ispitivanja. Ispitivanje je zamišljeno kao niz približno jednakih mjerenja simultanim korištenjem oba uređaja.

Proces mjerenja započinje pritiskom na tipku mjerenje uređaja DM01. Nakon što uređaj automatski utvrdi vlastiti položaj i orijentaciju, može se započeti sa ubrzavanjem vozila. Kada vozilo postigne dogovorenu brzinu, ispitivač pritišće pedalu kočnice, pri čemu započinje proces kočenja. Proces kočenja je intenzivan i ne prekida se sve do zaustavljanja vozila, što ujedno označava i kraj mjerenja. Po zaustavljanju očitavaju se i dokumentiraju rezultati mjerenja s decelerometra DM01. Pritom se iščitavaju rezultati aritmetičke srednje vrijednosti usporenja koji će se uspoređivati s rezultatima dobivenim na mjernom uređaju Driftbox tijekom istog mjerenja. Prikaz rezultata mjerenja pokazan je na slikama 38. i 39.



Slika 38. Grafički rezultati mjerenja



Slika 39. Aritmetička srednja vrijednost mjerenja

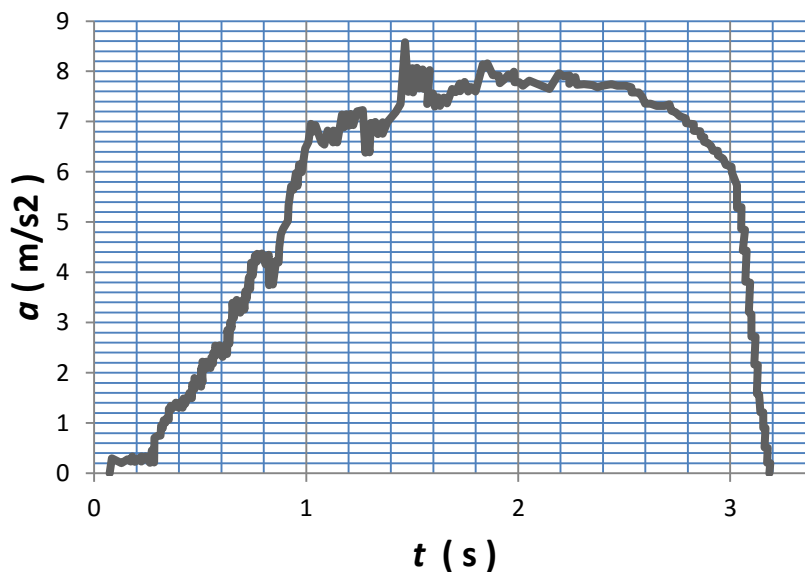
4.4 Analiza rezultata

Tijekom ispitivanja provedeno je 15 mjerenja pri kočenju s postignute brzine od približno 55 km/h te dodatnih 15 mjerenja pri kočenju s postignute brzine od približno 60 km/h. U analizi rezultata uzeto je u obzir posljednjih 15 mjerenja koja je uređaj zabilježio u memoriji. Odabrano je 12 reprezentativnih mjerenja od posljednjih 15, jer je analizom utvrđena greška u dva od posljednjih 15 mjerenja zbog prevelikog nagiba instrumenta, dok je jedno mjerenje neuspješno provedeno. Uređaj je tijekom navedenog prerano zaključio mjerenje i krenuo s analizom prije završetka procesa kočenja.

4.4.1 Mjerenje 1

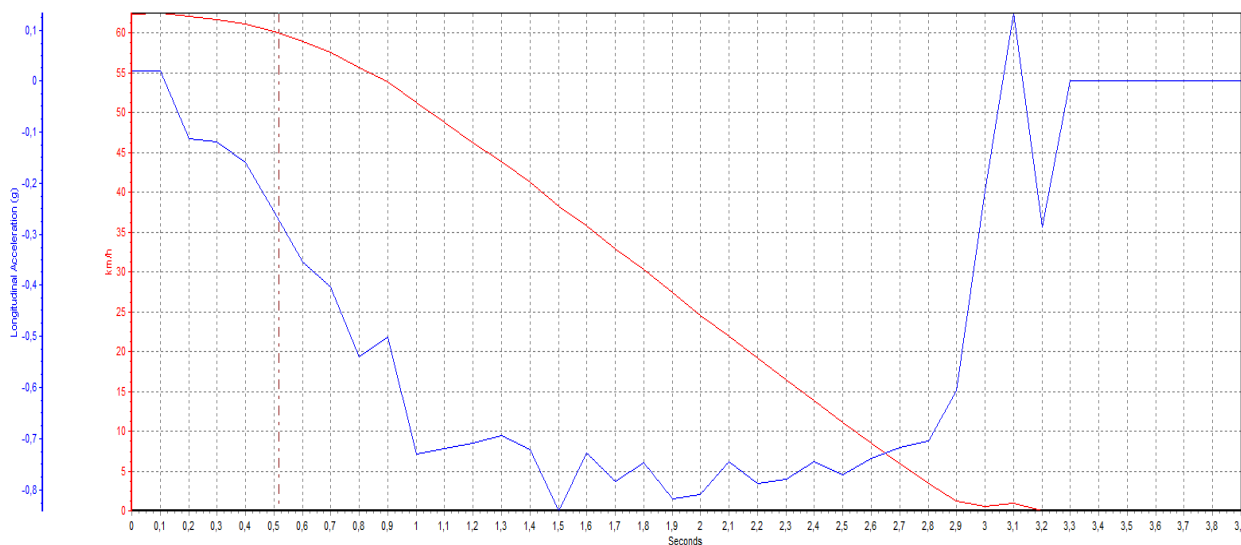
Mjerenje broj 1 provedeno je tijekom kočenja ispitnog vozila s postignute brzine od 62,46 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 30,22 metra.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,43 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 1,11 s do 2,99 s. Na slici 40. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 40. Dijagram mjerenja 1 – DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 41. Pritom je srednje usporenje vozila na istom intervalu jednako $0,746 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,32 \text{ m/s}^2$.

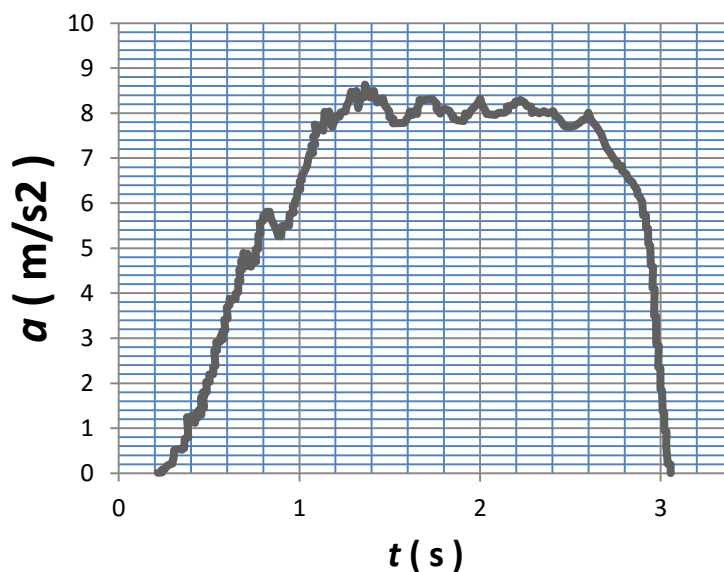


Slika 41. Dijagram mjerenja 1 – Driftbox

4.4.2 Mjerenje 2

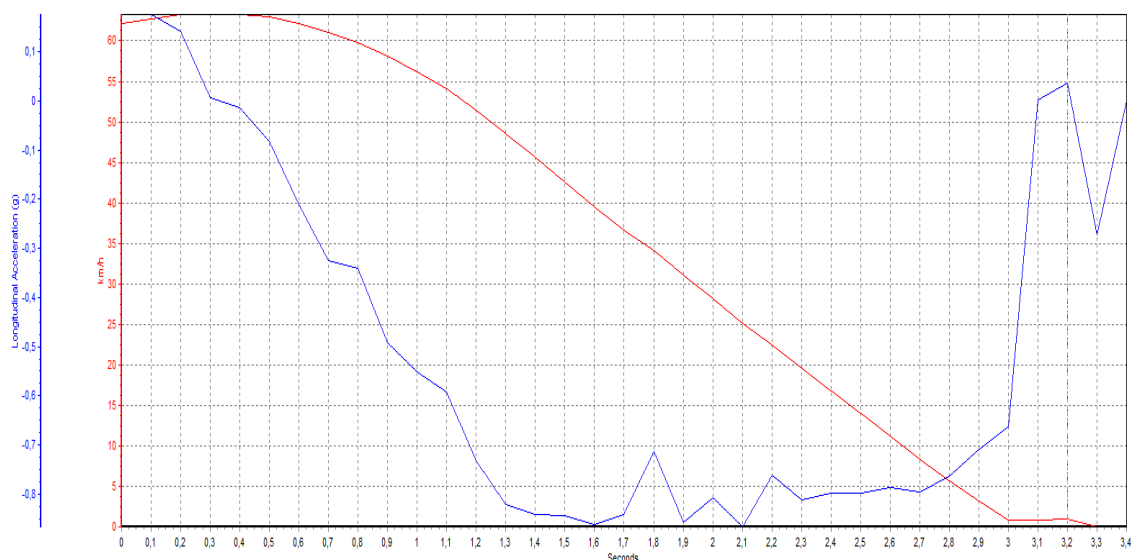
Tijekom mjerenja broj 2 ispitno vozilo postiglo je brzinu od 63,25 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,3 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 32,88 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,84 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 1,00 s do 2,83 s. Na slici 42. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 42. Dijagram mjerenja 2 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 43. Srednje usporenje vozila na istom intervalu jednako je $0,782 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,67 \text{ m/s}^2$.

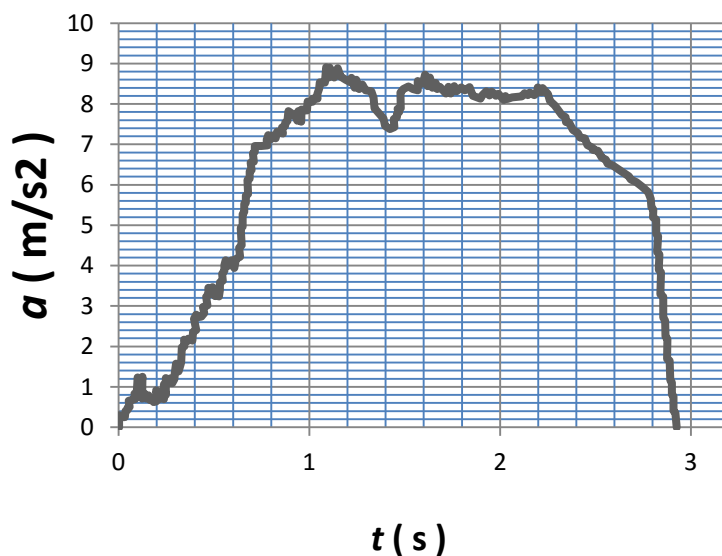


Slika 43. Dijagram mjerenja 2 – Driftbox

4.4.3 Mjerenje 3

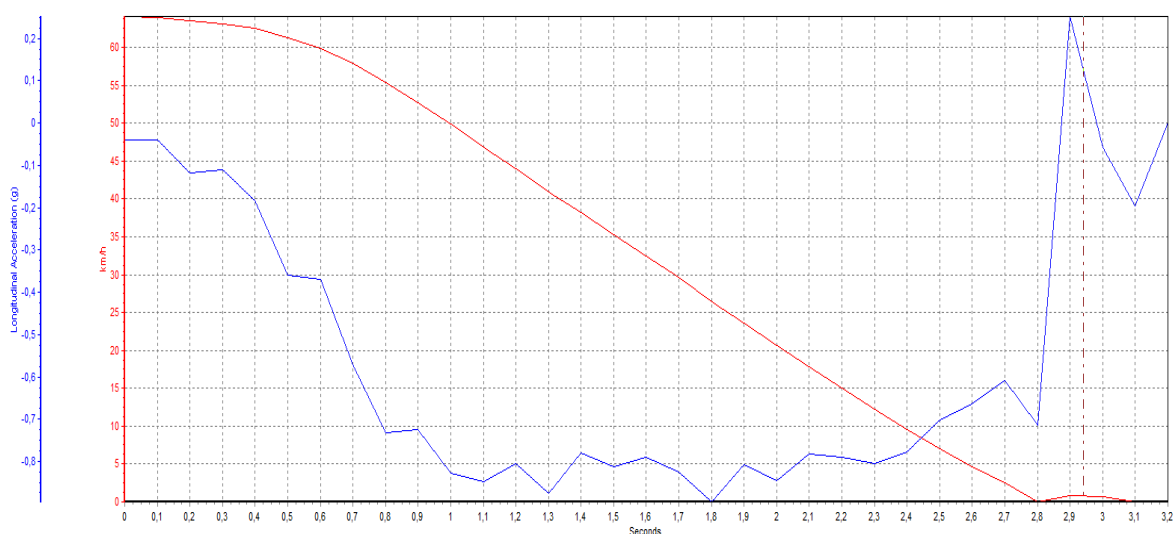
Za vrijeme trajanja mjerenja broj 3 ispitno vozilo postiglo je brzinu jednaku 64,08 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,1 sekunda. Prijedeni put tijekom procesa kočenja iznosi 28,61 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,92 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,95 s do 2,70 s. Na slici 44. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 44. Dijagram mjerenja 3 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 45. Srednje usporenje vozila na istom intervalu jednako je $0,787 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,72 \text{ m/s}^2$.

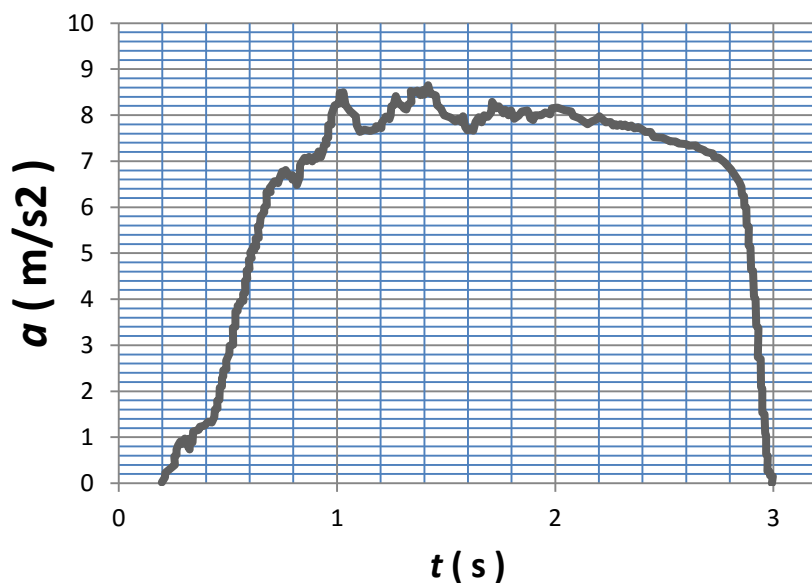


Slika 45. Dijagram mjerenja 3 – Driftbox

4.4.4 Mjerenje 4

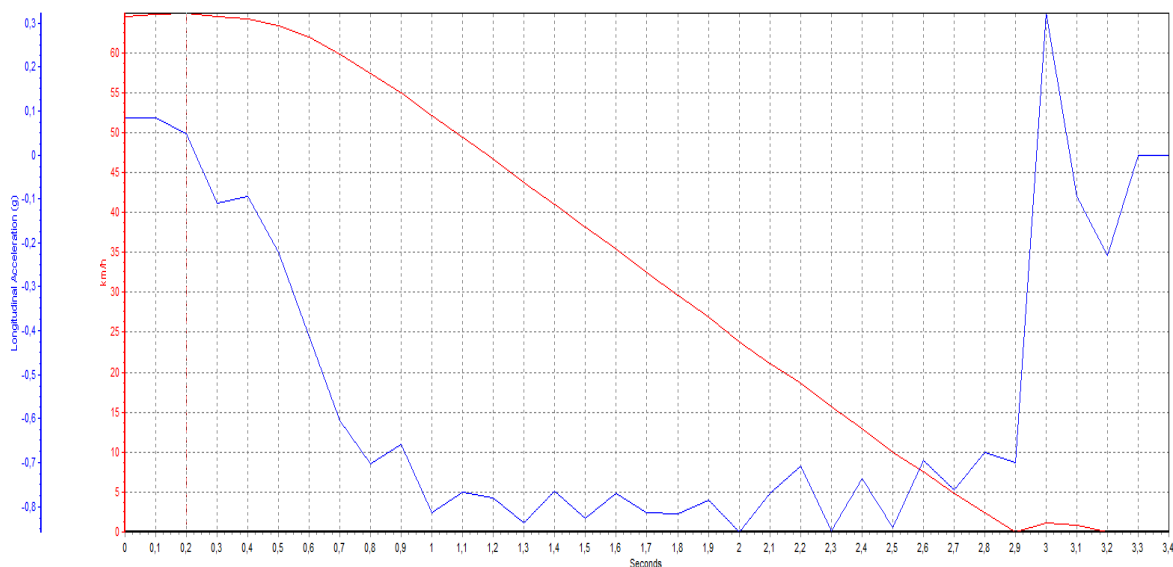
Tijekom četvrtog mjerenja ispitno vozilo postiglo je brzinu od 64,91 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 30,60 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,82 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,92 s do 2,80 s. Na slici 46. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 46. Dijagram mjerenja 4 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 47. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,777 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,62 \text{ m/s}^2$.

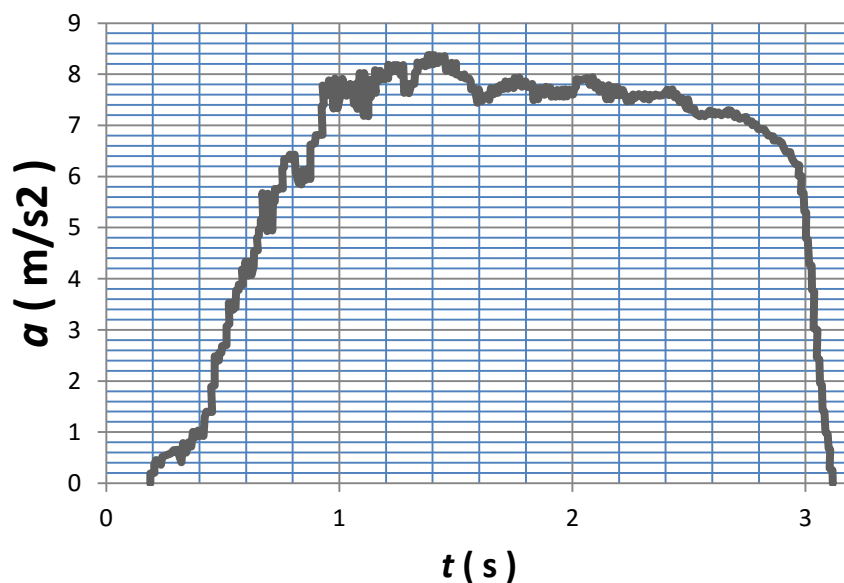


Slika 47. Dijagram mjerenja 4 – Driftbox

4.4.5 Mjerenje 5

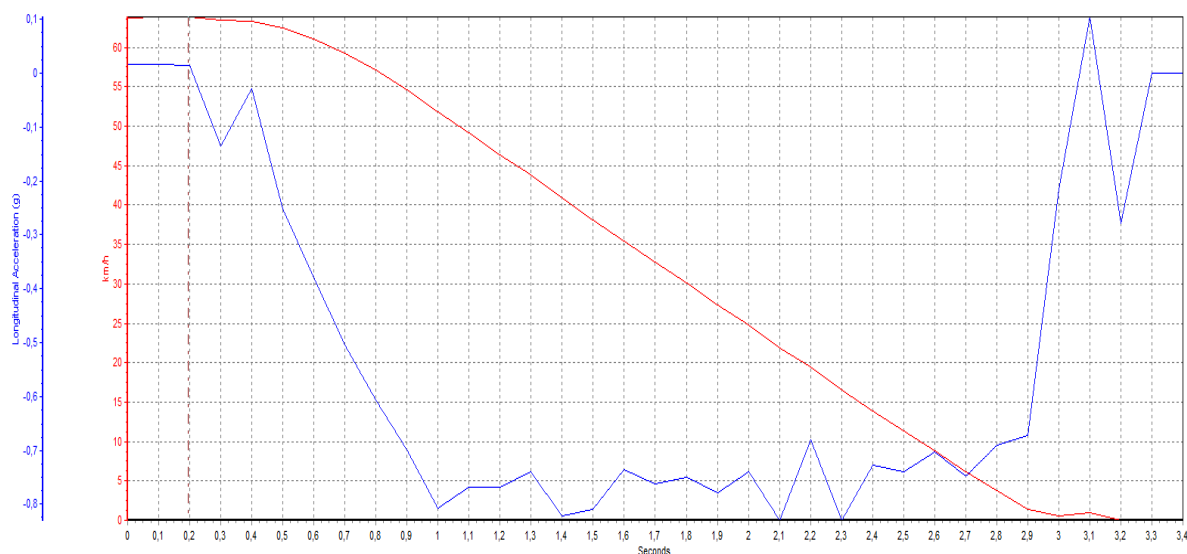
Tijekom petog mjerenja ispitno vozilo postiglo je brzinu od 63,87 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 30,69 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,58 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,92 s do 2,94 s. Na slici 48. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 48. Dijagram mjerenja 5 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 49. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,752 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,37 \text{ m/s}^2$.

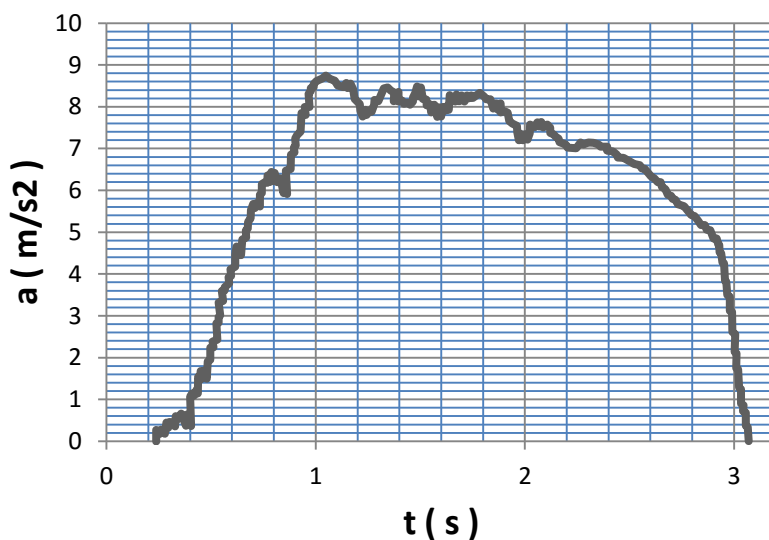


Slika 49. Dijagram mjerenja 5 - Driftbox

4.4.6 Mjerenje 6

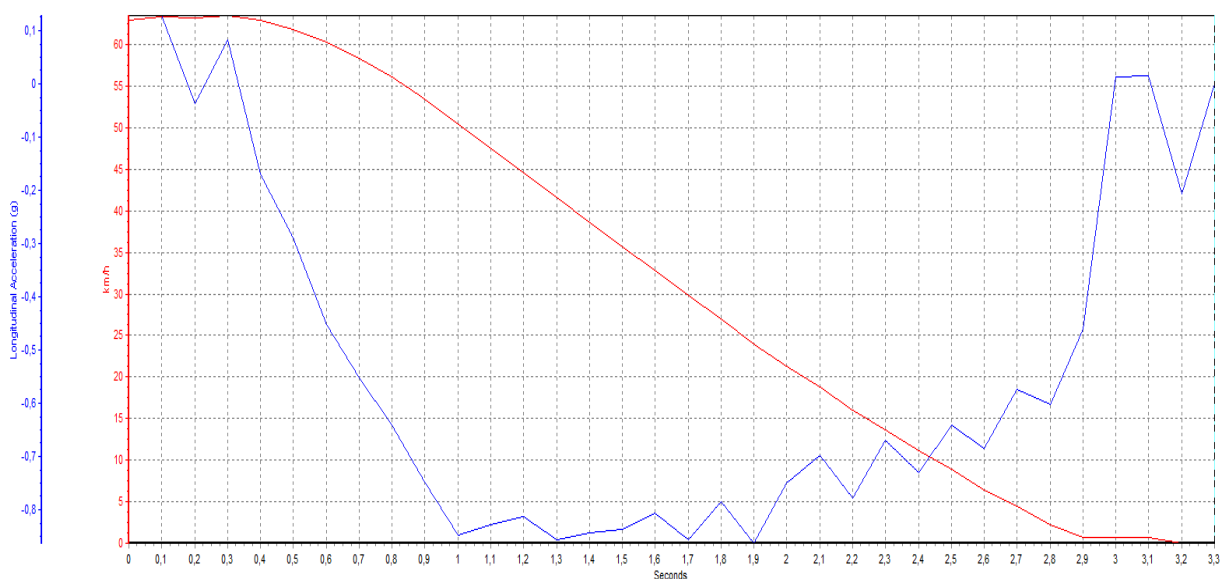
Mjerenje broj 6 provedeno je tijekom kočenja ispitnog vozila s postignute brzine od 63,48 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 29,16 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,54 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,94 s do 2,84 s. Na slici 50. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 50. Dijagram mjerenja 6 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 51. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,762 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,47 \text{ m/s}^2$.

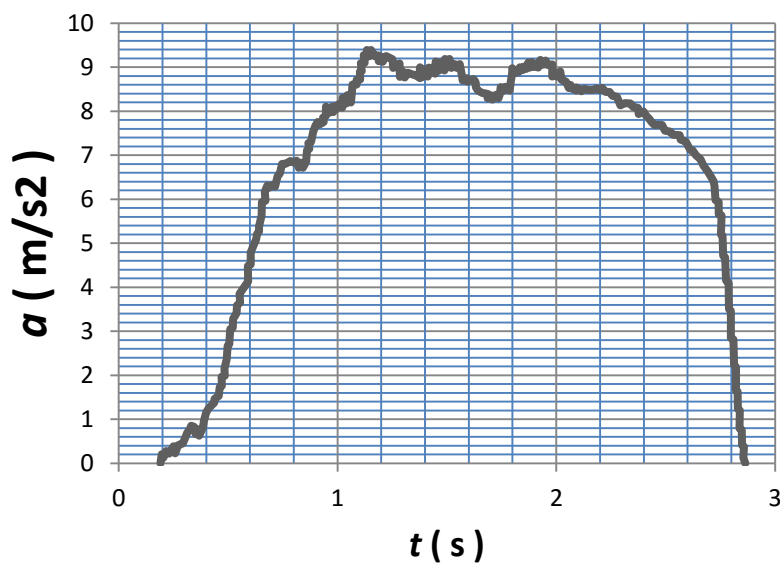


Slika 51. Dijagram mjerenja 6 – Driftbox

4.4.7 Mjerenje 7

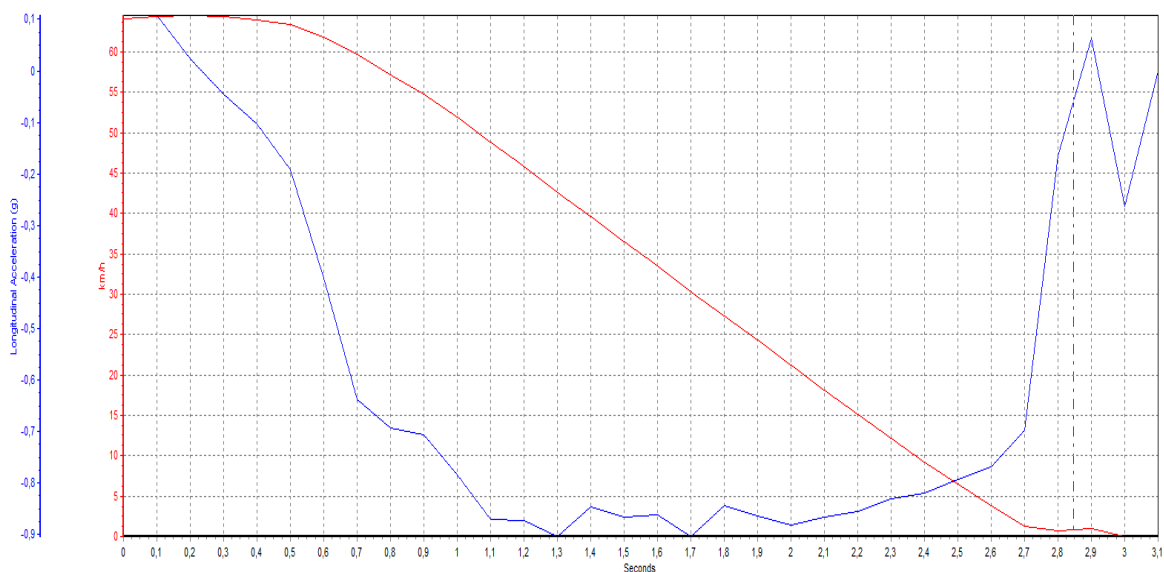
Mjerenje broj 7 provedeno je tijekom kočenja ispitnog vozila s postignute brzine od 64,50 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,0 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 29,29 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $8,46 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,93 s do 2,68 s. Na slici 52. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 52. Dijagram mjerenja 7 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 53. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,841 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $8,25 \text{ m/s}^2$.

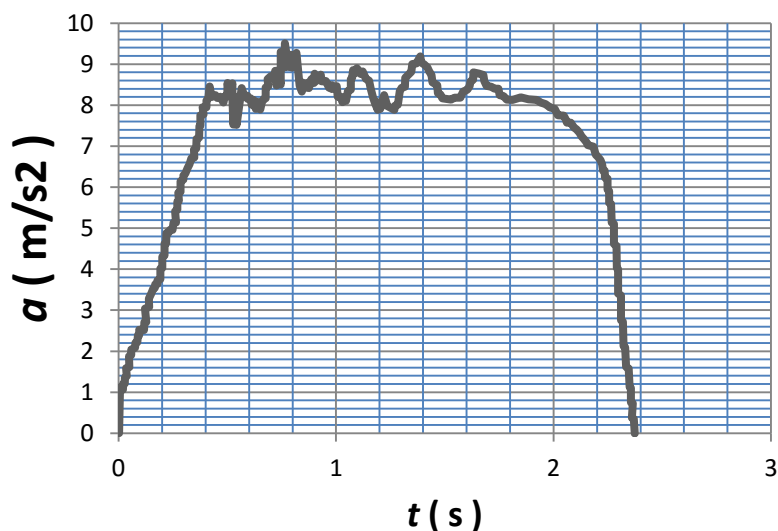


Slika 53. Dijagram mjerenja 7 – Driftbox

4.4.8 Mjerenje 8

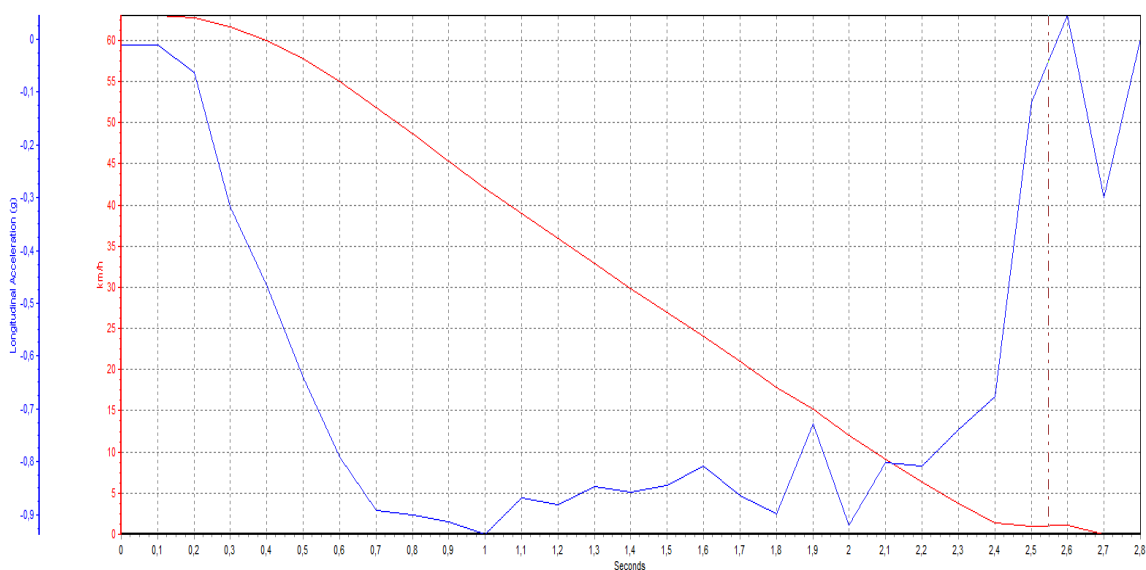
Tijekom osmog mjerenja ispitno vozilo postiglo je brzinu od 63,00 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 2,7 sekundi. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 23,76 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $8,29 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,52 s do 2,18 s. Na slici 54. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 54. Dijagram mjerenja 8 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 55. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,847 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $8,31 \text{ m/s}^2$.

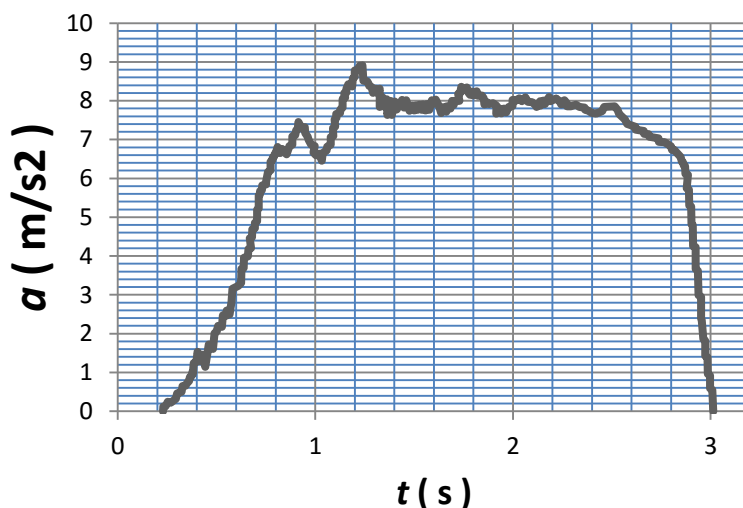


Slika 55. Dijagram mjerenja 8 - Driftbox

4.4.9 Mjerenje 9

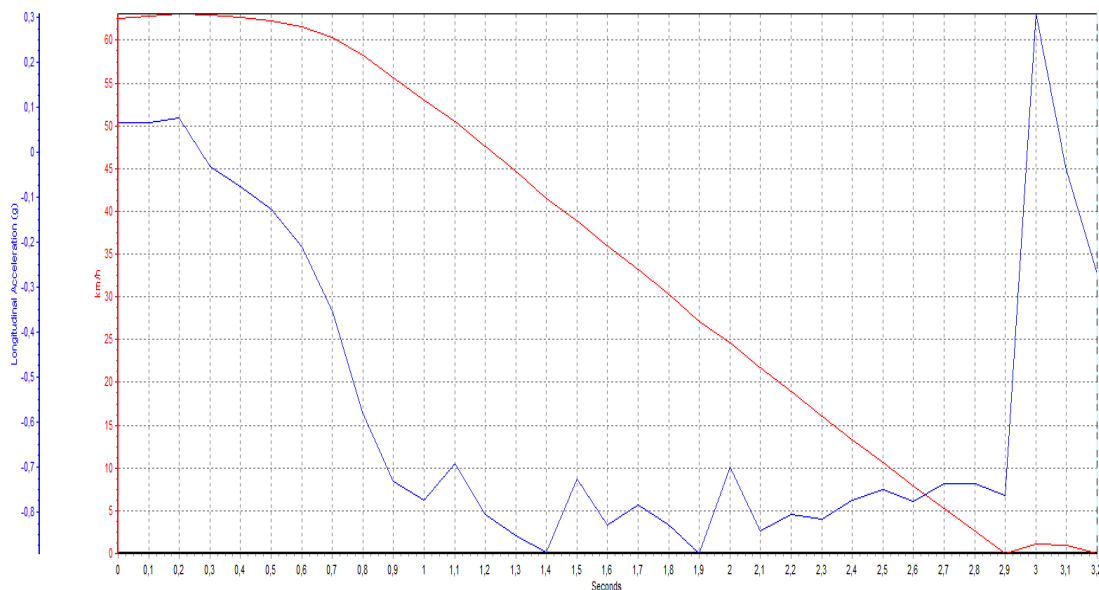
Mjerenje broj 9 provedeno je tijekom kočenja ispitnog vozila s postignute brzine od 63,09 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 30,72 metra.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,77 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,99 s do 2,81 s. Na slici 56. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 56. Dijagram mjerenja 9 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 57. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,787 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,72 \text{ m/s}^2$.

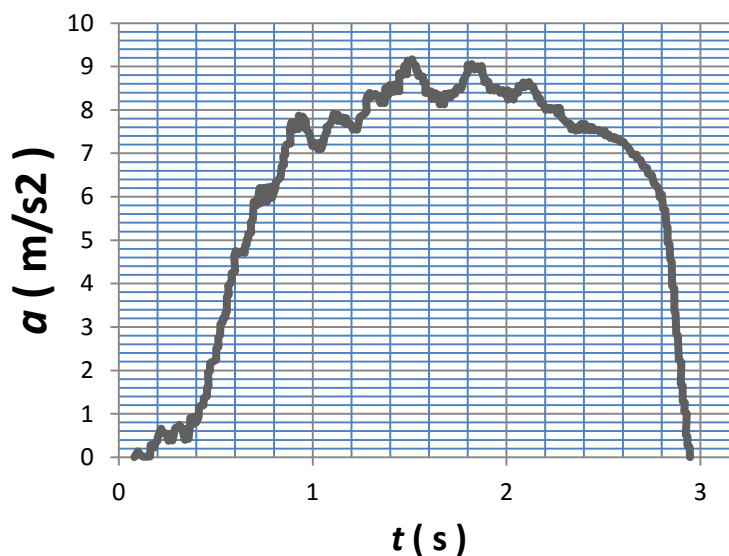


Slika 57. Dijagram mjerenja 9 – Driftbox

4.4.10 Mjerenje 10

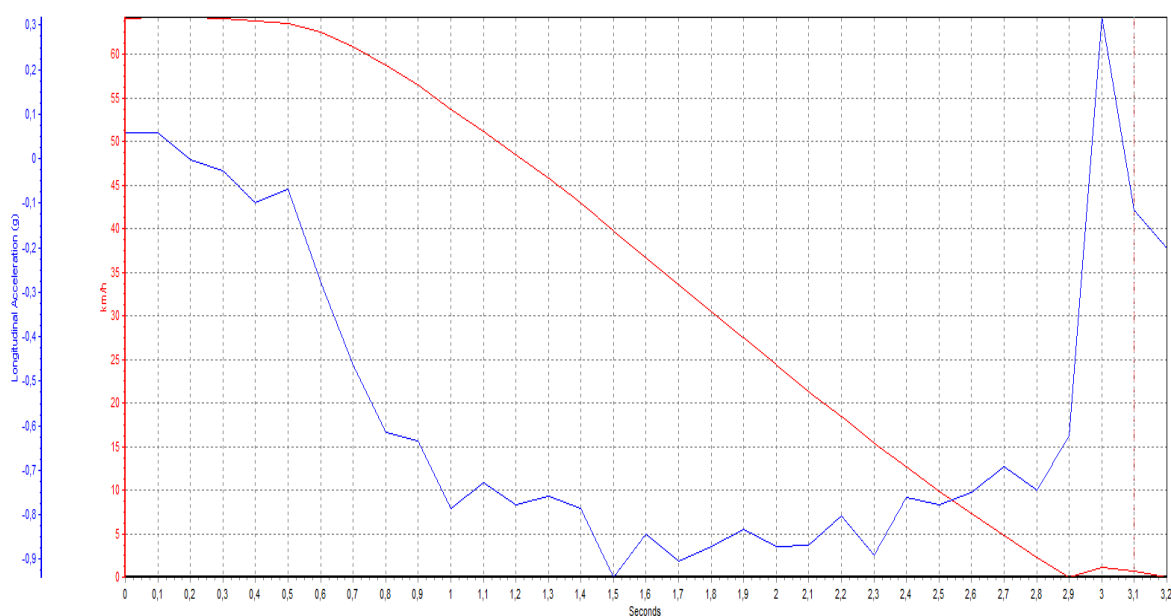
Mjerenje broj 10 provedeno je tijekom kočenja ispitnog vozila s postignute brzine od 64,25 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 31,06 metra.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $8,03 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,93 s do 2,75 s. Na slici 58. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 58. Dijagram mjerjenja 10 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 59. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,804 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,88 \text{ m/s}^2$.

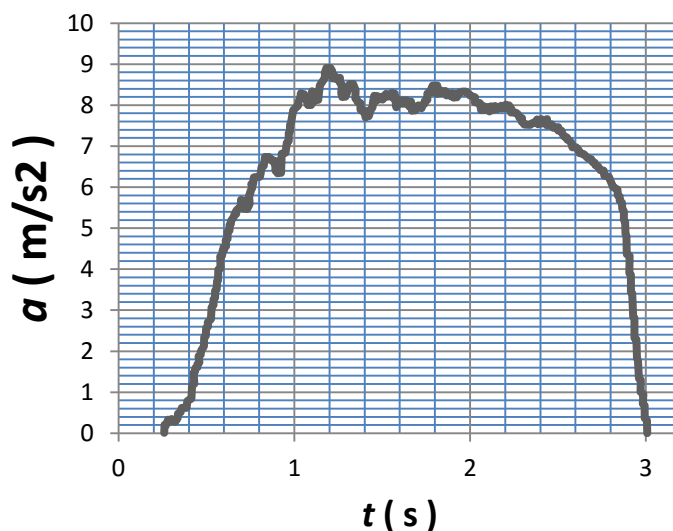


Slika 59. Dijagram mjerjenja 10 – Driftbox

4.4.11 Mjerenje 11

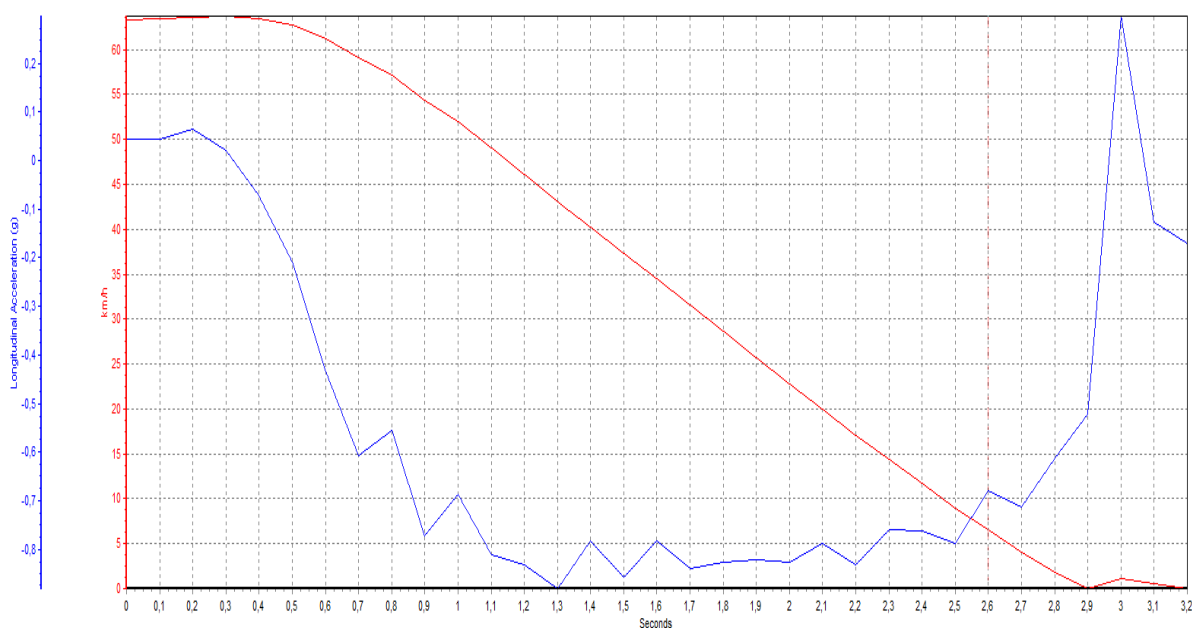
Tijekom 11. mjerenja ispitno vozilo postiglo je brzinu od 63,72 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijedeni put tijekom procesa kočenja iznosi 29,89 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $7,83 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,93 s do 2,79 s. Na slici 60. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 60. Dijagram mjerenja 11 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 61. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,792 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,77 \text{ m/s}^2$.

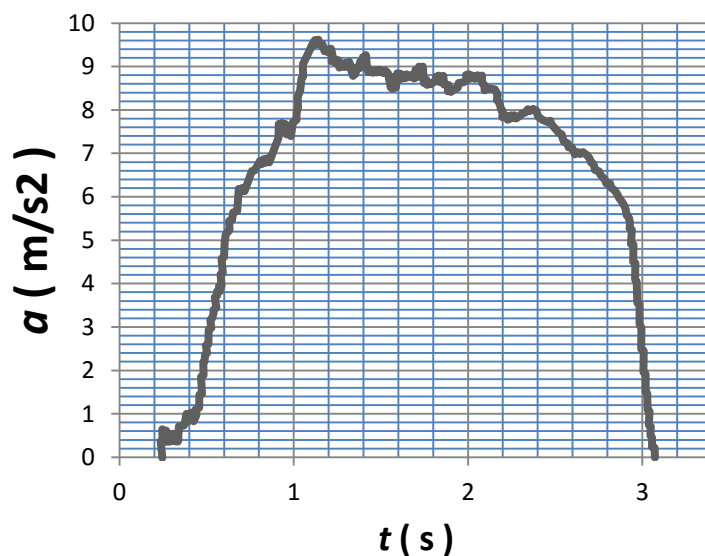


Slika 61. Dijagram mjerenja 11 – Driftbox

4.4.12 Mjerenje 12

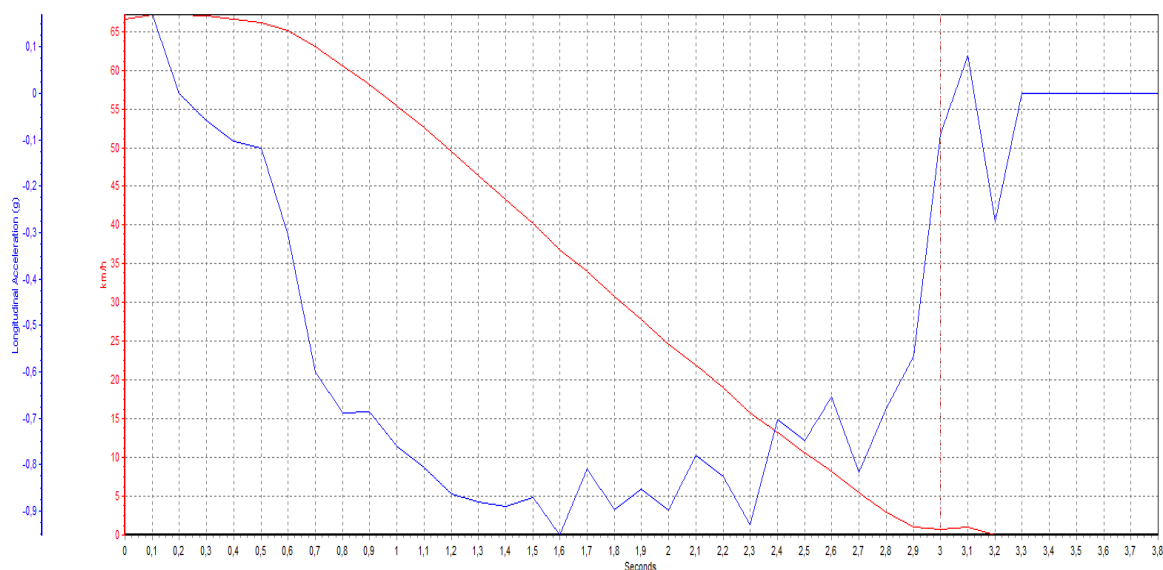
Tijekom 12. mjerenja ispitno vozilo postiglo je brzinu od 67,15 km/h. Od trenutka početka kočenja do potpunog zaustavljanja vozila prošlo je ukupno 3,2 sekunde. Prijeđeni put tijekom procesa kočenja iznosi 32,07 metara.

Uređajem DM01 izračunata je aritmetička srednja vrijednost usporenja vozila $8,24 \text{ m/s}^2$ na intervalu od 0,92 s do 2,84 s. Na slici 62. prikazan je dijagram usporenja vozila zabilježen uređajem DM01.



Slika 62. Dijagram mjerenja 12 - DM01

Profil usporenja i promjene brzine vozila izmjeren uređajem Driftbox prikazan je na slici 63. Srednje usporenje vozila izmjereno na istom intervalu je $0,815 \text{ g}$, što je jednako usporenju od $7,99 \text{ m/s}^2$.



Slika 63. Dijagram mjerenja 12 – Driftbox

4.4.13 Pregled i usporedba mjerenja

Rezultati svakog pojedinog mjerenja oba uspoređivana uređaja zajedno s intervalom izračunavanja srednje vrijednosti usporenja prikazani su u tablici 9. Vrijednosti srednjeg usporenja vozila uređaja Driftbox dobivene su iz dijagrama profila usporenja za jednaki vremenski interval kao i vrijednosti izmjerene uređajem DM01. Pri izračunu vrijednosti usporenja izmjerenih uređajem Driftbox korišten je *softwareski* alat Driftbox Tools.

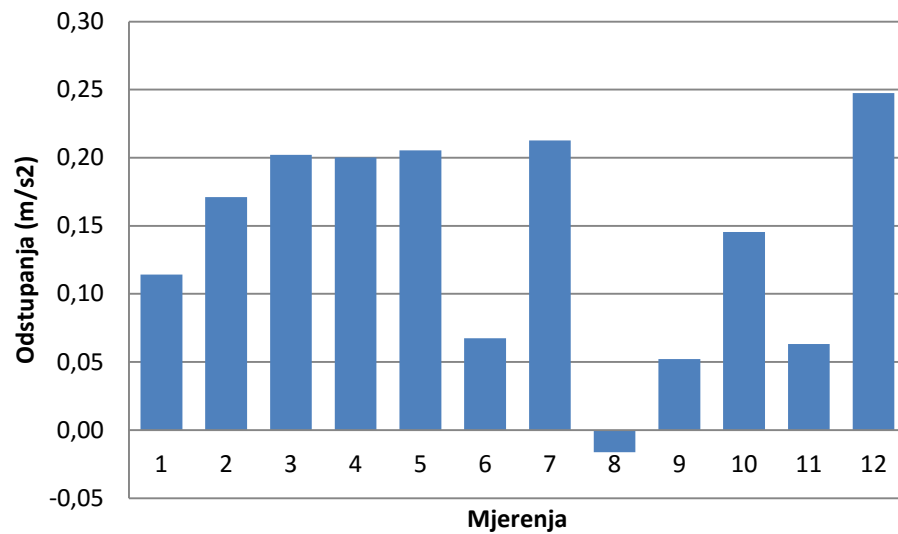
Tablica 9. Rezultati mjerenja

N	a_{driftbox}	a_{driftbox}	t_{start}	t_{stop}	a_{dm01}
-	g	m/s ²	s	s	m/s ²
1	0,746	7,32	1,11	2,99	7,43
2	0,782	7,67	1,00	2,83	7,84
3	0,787	7,72	0,95	2,70	7,92
4	0,777	7,62	0,92	2,80	7,82
5	0,752	7,37	0,92	2,94	7,58
6	0,762	7,47	0,95	2,84	7,54
7	0,841	8,25	0,93	2,68	8,46
8	0,847	8,31	0,52	2,18	8,29
9	0,787	7,72	0,99	2,81	7,77
10	0,804	7,88	0,93	2,75	8,03
11	0,792	7,77	0,93	2,79	7,83
12	0,815	7,99	0,92	2,84	8,24

Usporedbom rezultata dobivenih korištenjem ova dva uređaja dobiveni su podatci iz kojih je vidljiva razlika izmjerenih vrijednosti. Oduzimanjem vrijednosti srednjeg usporenja vozila izmjerenih uređajem Driftbox od srednjih vrijednosti izmjerenih uređajem DM01 dobivena su odstupanja rezultata svakog pojedinog mjerenja. Odstupanja rezultata pojedinih mjerenja prikazana su u dijagramu na slici 64. Odstupanja izmjerenih vrijednosti izražena u postotku od referentnog uređaja Driftbox izračunata su korištenjem apsolutnih vrijednosti.

Tablica 10. Odstupanje mjerenja

a_{driftbox}	a_{dm01}	$a_{\text{dm01}} - a_{\text{driftbox}}$	$ a_{\text{dm01}} - a_{\text{driftbox}} $	Odstupanje
m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²	%
7,32	7,43	0,11	0,11	1,56
7,67	7,84	0,17	0,17	2,23
7,72	7,92	0,20	0,20	2,62
7,62	7,82	0,20	0,20	2,63
7,37	7,58	0,21	0,21	2,79
7,47	7,54	0,07	0,07	0,90
8,25	8,46	0,21	0,21	2,58
8,31	8,29	-0,02	0,02	0,20
7,72	7,77	0,05	0,05	0,68
7,88	8,03	0,15	0,15	1,84
7,77	7,83	0,06	0,06	0,81
7,99	8,24	0,25	0,25	3,10
Prosječno odstupanje:		0,135	0,139	1,80
Standardna devijacija:		0,079	0,072	0,93



Slika 64. Dijagram odstupanja rezultata pojedinih mjerenja

Na temelju izračunatih podataka moguće je izračunati mjernu nesigurnost korištenjem izraza:

$$u = \frac{s_{x_i}}{\sqrt{N}},$$

gdje s_{x_i} predstavlja prosječno odstupanje rezultata mjerenja, a N ukupan broj mjerenja. Za 12 provedenih mjerenja s prosječnim odstupanjem rezultata od 1,80 % mjerna nesigurnost iznosi 0,52 %.

5. Zaključak

Nakon provođenja ispitivanja i analize rezultata, doneseni su sljedeći zaključci.

Utvrđeno je da je maksimalna razlika mjerenja srednjeg usporenja vozila uređajem DM01, $\Delta a = 0,25 \text{ m/s}^2$, što je 3,10 % u odnosu na rezultate mjerenja referentnim uređajem..

Najmanja je izmjerena razlika $\Delta a = -0,02 \text{ m/s}^2$, što je 0,20 % u odnosu na mjerenje referentnog uređaja.

Izračunato je i prosječno odstupanje mjerenja uređaja DM01 u odnosu na referentni uređaj Driftbox u iznosu 1,8 % te standardna devijacija koja iznosi 0,93 %.

Također, izračunata je i mjerna nesigurnost metode te iznosi 0,52 %.

Pregledom postojećih uređaja na tržištu i usporedbom njihove preciznosti mjerenja koje se kreću između 1 i 2 % vidljivo je da je preciznost uređaja DM01 u rangu konkurencije.

Literatura

- [1] Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama (NN 85/16)
- [2] Genta G., Morello L., The Automotive Chassis Volume 1: Components Design, Springer, 2009.
- [3] Tehnika motornih vozila, Hrvatska obrtnička komora, Pučko otvoreno učilište Zagreb, 2004.
- [4] Pravilnik o tehničkim pregledima vozila (pročišćeni tekst – NN broj 148/08, 36/10, 52/13, 111/14, 122/14)
- [5] Šilić Đ., Ispitivanje motornih vozila, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2010.
- [6] Vozila s pogonom na četiri kotača, Stručni bilten 137, Centar za vozila Hrvatske, Zagreb, listopad 2011.
- [7] MAHA VZM – GB Brochure
- [8] www.maha.de/
- [9] www.bowmonk.com/
- [10] www.turnkey-instruments.com
- [11] Pedley M., Tilt Sensing Using a Three-Axis Accelerometer, Freescale Semiconductor, Inc., 2007.
- [12] Pedley M., High Precision Calibration of a Three-Axis Accelerometer, Freescale Semiconductor, Inc., 2013.
- [13] www.kemolab.hr/validacije/
- [14] www.vboxmotorsport.co.uk/